Zur mechanischen theorie der explosivstoffe

Raoul Pictet





Zur
mechanischen Theorie
der
Explosivstoffe.

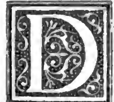
Von

Prof. Raoul Pictet.



Weimar
Verlag von Carl Steinert.
1902.

Vorwort.


IE Arbeit, die ich hiermit der Oeffentlichkeit übergebe, ist beinahe zehn Jahre alt.

Da sie einige Kapitel der Chemie betrifft, welche auf Anwendungen im Kriege Bezug haben, so hatte ich geglaubt, die Ergebnisse nicht publizieren zu sollen.

Nachdem nun aber mehrere Werke über die Explosivstoffe und ihre chemischen Bestandteile erschienen sind, und besonders, weil die Chemie und Physik sich mehr und mehr in ihrer wissenschaftlichen Form und Durcharbeitung der Mechanik und Astronomie nähern, halte ich es für angebracht, die Veröffentlichung dieser Arbeit nicht länger zu verzögern, — giebt sie doch eine glänzende Bestätigung für die modernen leitenden Prinzipien dieser beiden Wissenschaften.

Einleitung.

Das Auftreten des Pulvers in der zivilisierten Welt hat ausserordentlich rasch die ökonomische Lage der Völker verändert, und zwar zum Vorteil der vorgeschrittensten, sozusagen der unterrichtetsten Nationen.

Die Konstruktion von Kriegswaffen sowie die grossen Verkehrswege hätten ohne die Einführung der Explosivstoffe nicht den gegenwärtigen Zustand unserer Kultur hervorrufen können.

Lange Zeit hindurch hat lediglich ein roher Empirismus die alten Alchimisten geleitet, die Besitzer wissenschaftlicher Geheimnisse, die zu jener Zeit alle den Charakter vom Teufel mitgeteilter Künste besassen.

Nur schrittweise hat die methodische Wissenschaft die von der zufälligen Erfahrung diktierten Vorschriften verdrängt, und in unsern Tagen gestattet die Kenntnis der Gesetze der Thermochemie und der Thermodynamik, die

verschiedenen Phasen der Verbrennungen, Entzündungen etc. bis ins Einzelne zu verfolgen.

Das Studium der Explosivstoffe und die Bekanntschaft mit ihren Bestandteilen vor jeder Erfahrung, sobald man nur die bildenden Stoffe kennt, welche ins Spiel treten müssen, hat die ziellosen Untersuchungen vergangener Zeiten verdrängt.

Fügt man zu diesen Ueberlegungen die Thatsache hinzu, dass unsere Industrie solche Fortschritte in der Manufaktur gemacht hat und die Arbeit aller Rohstoffe und aller besonderen Werkzeuge, so wird man begreifen, dass aus der innigen Vereinigung der reinen Wissenschaften Chemie und Physik mit der Macht der modernen Praxis neue Prinzipien des Fortschritts, der Verbesserung bei der Fabrikation der Explosivstoffe und bei ihren Anwendungen im Kriege und in den Künsten des Friedens sich entwickeln können.

Vorliegende Studie hat keinen anderen Zweck.

Wir haben bei den Pulvern und den verschiedenen Explosivstoffen, deren man sich heute bedient, eine Menge von Unzuträglichkeiten festgestellt. Es ist uns interessant erschienen, Schritt für Schritt einen rationellen Weg zu verfolgen, um synthetisch einen typischen Explosivstoff zusammenzusetzen,

nachdem wir das theoretische Programm aufgestellt haben, das ein derartiger Körper erfüllen muss.

I. Die gegenwärtigen Pulver und Explosivstoffe.

Man nennt heute Pulver oder Explosivstoff jeden festen Körper, der fähig ist, seinen Zustand, seine Kraft, seine allgemeinen Eigenschaften unter den gewöhnlichen Verhältnissen zu bewahren, jedoch plötzlich eine grosse Menge von Gasen oder Dämpfen zu erzeugen, wenn man eine besondere Ursache einwirken lässt, etwa eine heftige Erschütterung, einen glühenden Körper oder eine benachbarte Explosion.

Die Anzahl der gegenwärtig bekannten Pulver und Explosivstoffe ist sehr beträchtlich.

Das Lexikon der Explosivstoffe von J. P. Cundhill erwähnt fast ein volles Tausend.

Wenn wir uns darauf beschränken, diejenigen Pulver und Explosivstoffe anzuführen, die in den praktischen Gebrauch eingedrungen sind, so wird das Verzeichnis genügend beschränkt sein.

1. Gruppe. Langsam wirkende Pulver.

Wenn man heute von langsamwirkenden Pulvern spricht, so hat das Eigenschaftswort nur den Sinn, sie mit anderen Explosivstoffen zu ver-

gleichen. Die jetzigen langsam wirkenden Pulver waren ehemals die zerstörenden, und übrigens die einzig bekannten: Es sind alle Pulver, die aus Salpeter, Kohle und Schwefel bestehen.

Das Schiesspulver, das man in Frankreich und in anderen Ländern benutzt, hat folgende Zusammensetzung:

Land:	Salpeter.	Schwefel.	Kohle.
Frankreich	75 Teile	12,5 Teile	12,5 Teile
Oesterreich	75,5 „	10 „	14,5 „
Vereinigte Staaten . .	76 „	10 „	14 „
Schweiz	76 „	10 „	14 „
Holland	70 „	14 „	16 „
Preussen	74 „	10 „	16 „
Andere europäische Länder	75 „	10 „	15 „
China	61,5 „	15,5 „	23 „

Dieses Pulver ist schwarz und explodiert, sobald man seine Temperatur ein wenig über 260° bringt. Es explodiert auch durch den Schlag von Eisen auf Eisen, Eisen auf Stein.

Dieses Pulver ist ziemlich hygrometrisch und verdirbt unter dem Einfluss der Feuchtigkeit. Es explodiert von selbst unter dem Einfluss von Ursachen, die noch unbekannt sind, wie zahlreiche Pulverexplosionen beweisen. Die Verbrennung des Pulvers ist immer unvollkommen. Bei seiner Explosion entstehen Gase und feste Stoffe. Die gasförmigen Stoffe enthalten etwa 43% vom Gewicht des Pulvers, die festen Stoffe etwa 57%.

Das Pulver verbreitet bei seiner Explosion schädliche Gase.

Das Kohlenoxyd CO bildet mehr als 10% der Gase, und der Schwefelwasserstoff etwa 4%.

Ein Kilogramm Pulver entwickelt im Moment der Explosion 552 bis 697 Kalorien.

Die Temperatur der Gase steigt bis auf 3514°.

Der Maximaldruck des in seinem eigenen Volumen verpuffenden Pulvers erreicht etwa 4600 Atmosphären, wenn die Dichte im Verbrennungsraum 0,8 ist.

Das Volumen der durch die Verbrennung von 1 Kilogramm Pulver erzeugten Gase beträgt 300 Liter.

Das sind die hauptsächlichsten Konstanten der Gleichungen des schwarzen Schiesspulvers, das während mehr als zwei Jahrhunderten bei allen Kriegswaffen verwendet wurde.

Die feinen, sog. Jagdpulver, die grobkörnigen Pulversorten, die Pulver für Minen unterscheiden sich von einander nur durch Modifikationen bei der Schnelligkeit der Entzündung, welche zur Grösse der Körner in Beziehung steht.

2. Gruppe. Schnell wirkende Pulver.

Die schnell wirkenden Pulver bilden das Zwischenglied zwischen dem gegenwärtigen

Schiesspulver und den mächtigen und plötzlich wirkenden Explosivstoffen.

Die schnell wirkenden Pulver können noch in den Feuerwaffen Verwendung finden, jedoch unter der Bedingung, dass sie durch Zusatzstoffe welche die Plötzlichkeit der Entflammung verlangsamen und die Reaktion mildern, gemässigt werden.

Die schnell wirkenden Pulver sind zum ersten Male bei den Schiesspulvern aufgetreten, in welchen Salpeter durch Kalium - Chlorat ersetzt wurde. Diese Ersetzung, die zuerst von Berthelot ersonnen wurde, ist in der Praxis aufgenommen worden und hat eine grosse Zahl bemerkenswerter Explosionen verursacht.

Diese Pulver sind sehr empfindlich gegen Stoss und Reibung.

Die Pulver mit Kalium - Chlorat werden in den Torpedos verwandt und in solchen Fällen, wo man die Zerstörung eines Werkes herbeiführen will.

Ein Kilogramm dieser Pulver mit Kalium-Chlorat setzt 953 Kalorien frei und entwickelt 225 Liter Gas. Bei der Verbrennung entsteht schweflige Säure etwa im Verhältnis von 30% der erzeugten Gase.

Der maximale Anfangsdruck variiert je nach der Zusammensetzung zwischen 4000 und 6000 Kilogramm per Quadratcentimeter.

Eine andere Art schnellwirkender Pulver erhält man durch inniges Mischen heftiger Explosivstoffe, wie Schiessbaumwolle, Nitroglycerin, verschiedenen Ozatüren mit dem gewöhnlichenSchiesspulver oder analogenErsatzmitteln.

Diese Pulver sind ganz modernen Ursprungs und mehrere Typen befinden sich noch im Versuchsstadium. Sie alle haben gemeinschaftliche Kennzeichen, die wir etwa in folgender Weise zusammenfassen können:

Sie entwickeln im Moment der Entflammung sehr beträchtliche Anfangsdrucke und sie geben in der Seele der Kanone oder der Flinte im Moment des Austritts des Projektils zu schwache Drucke. Mit einem Wort, das Diagramm des Stosses der Gase unter dem Projektil ist anfangs zu hoch und am Schlusse zu niedrig.

Ueberdies sind die Gase, die von allen diesen Körpern erzeugt werden, welche aus der Nitrifikation der Bestandteile der aromatischen Reihe entstehen, im Moment der Explosion beim ersten Anprall tötlich, da sie ausserordentliche Mengen Kohlenoxyd und salpetriger Dämpfe enthalten.

Die beträchtlichen Variationen in der Entflammbarkeit dieser schnellen Pulver, welcher Art sie auch angehören, bilden einen der grossen Mängel dieser Pulver, da ihr Gebrauch wenig sicher ist.

Die Explosion von Kanonen, Haubitzen, Gewehren, die mit diesen schnellen Pulvern geladen waren, hat die Anwendung dieser neuen Erzeugnisse in allen Ländern begleitet.

Das neue rauchlose Pulver, das gegenwärtig in den meisten Staaten studiert wird, gehört nach meinen Informationen zu dem Typus der schnell wirkenden Pulver.

Die Schiessbaumwolle, der Aether, der Kampfer, das Nitroglycerin etc. ... werden in verschiedenen und noch nicht genügend geklärten Verhältnissen gemischt.

Ich kenne keine offiziellen Dokumente, die über die chemische Zusammensetzung dieser neuen Pulver veröffentlich sind, aber die von mir selbst ausgeführte chemische Analyse der Gase, die bei der Verbrennung dieser neuen rauchlosen Pulver erhalten wurden, hat mir immer übermässige Mengen Kohlenoxyd verraten, ein deutlicher Beweis in Bezug auf die Natur der Bestandteile.

3. Gruppe. Explosivstoffe.

Neben den langsam und schnell wirkenden Pulvern, die beide in den Feuerwaffen benutzt werden können, hat die moderne Pyrochemie die Sammlung der verpuffenden Substanzen durch die Erfindung der wirklichen Explosivstoffe vervollständigt.

Diese Körper sind von solcher Unbeständigkeit, dass ihre Zersetzung zu plötzlich vor sich geht, als dass irgend ein fester Körper seine Gestalt unverletzt bewahren kann, wenn sie in seiner Nähe explodieren.

Die widerstandsfähigsten Körper, Eisenbahnschienen, Kanonen, Baumstämme, steinerne Brückenbogen, Granit, Schiffsverblendungen werden durch den Stoss der im Augenblick der Explosion in Freiheit gesetzten Gase zerschmettert und zerstört.

Angesichts dieser Eigenschaften können die eigentlichen Explosivstoffe nur bei den Werken der Zerstörung Anwendung finden, z. B. bei Tunnels, die in die Felsen zu graben sind, deren Substanz sie drei- bis fünfmal so stark in Pulver verwandeln, als es das gewöhnliche Pulver thut.

Die Explosivstoffe sind Körper, mit denen zu arbeiten so gefährlich ist, dass die Praxis die meisten von ihnen verworfen hat und nur drei oder vier duldet, die eingereiht sind in die Klasse der Stoffe, die als Handelsobjekt dienen dürfen.

Das Quecksilber-Fulminat. Dieser Explosivstoff ist der König aller bekannten explosiven Körper; es ist der mächtigste.

Seine Zersetzungsformel nach Berthelot ist folgende: $C_2N_2O_2Hg = Hg + 2N + 2CO$.

1 Kilogramm entbindet 463 Kalorien.

1 Kilogramm entwickelt 235,6 Liter Gas, reduziertes Volumen nach der Kondensation.

Im Moment der Entflammung steigt die Temperatur auf mehr als 4000°; der Druck der Gase ist furchtbar.

Wenn das Knallquecksilber in seinem eigenen Volumen verpufft, so ist seine Dichtigkeit 4,43, der Maximaldruck erreicht den Wert von 28750 Kilogramm!

Die Natur der Gase dieses Explosivstoffs zeigt, dass es förmliche Gifte in der Atmosphäre verbreitet.

Der Preis und die Gefahr des Opperierens mit diesem Körper bewirken, dass man es nur in Form von Pillen, Kapseln etc. anwendet.

Man mischt das Knallquecksilber mit Kalium-Chlorat und anderen Körpern, um seine Eigenschaften ein wenig zu mildern; aber sie werden dadurch nur unwesentlich modifiziert.

Schiessbaumwolle. Die Entdeckung dieses Explosivstoffes, die im Jahre 1866 von Schönbein gemacht wurde, hat ihre praktischen Früchte erst ganz kürzlich getragen. Abel in England ist der wirkliche Bewältiger dieses Körpers, und Brown hat das Mittel gefunden, ihn zu entzünden und die komprimierte Schiessbaumwolle durch eine Zündpille von Knallquecksilber zum Verpuffen zu bringen.

Die Schiessbaumwolle hat folgende Formel:

$C_{48}\ H_{18}\ (N\ O_{6}\ H)_{11}\ O_{18}$ = Schiessbaumwolle nach Sarran und Vieille in Paris.

1 Kilogramm entbindet 1076 Kalorien.

1 Kilogramm entwickelt 859 Liter, wobei das Wasser in Dampfform gezählt ist. Der Maximaldruck, der von Sarran und Vieille bei einer Dichte der Ladung von 0,55 registriert wurde, wurde gleich 21 500 Kilogramm gefunden! Indem sie an diesen Massen die Korrekturen anbrachten, welche eine genauere Prüfung der Methoden als notwendig erwies, reduzierten diese Experimentatoren diesen Druck auf etwa 10 000 Atmosphären.

Die Zersetzungsgleichung der Schiessbaumwolle zeigt, dass die erzeugten Gase zu den schädlichsten gehören, die Menge des Kohlenoxyds ist dabei enorm.

Die Anwendung der Schiessbaumwolle in den Bergwerken ist sehr gefährlich; denn das Kohlenoxyd ist schwer fortzuschaffen, es setzt sich an den Stellen fest, die in der Nähe der Explosion gelegen sind, und schadet der Gesundheit der Arbeiter, die häufig durch dasselbe ersticken.

Angefeuchtet widersteht die Schiessbaumwolle den Stössen und kommt schwer zur Explosion, wofür sie dann besondere Zündmittel braucht.

Die Schiessbaumwolle ist sehr teuer; sie fällt bei der Herstellung wenig gleichmässig aus. Bei längerer Lagerung kann sie sich verändern und Unglücksfälle durch Explosionen ohne ersichtlichen Grund herbeiführen.

Das Nitroglycerin. Das Nitroglycerin hat einen starken Ruf; es ist ebenso mächtig wie seine Handhabung unter dieser Form gefährlich ist.

Es ist die einzige Flüssigkeit, welche zögernd als Explosivstoff aufgetreten ist; man hat ihn unter dieser flüssigen Form schnell verschwinden lassen, denn die Unglücksfälle häuften sich so sehr, dass man sich dieses Körpers unmöglich bedienen konnte.

Das Nitroglycerin ist ein heftiges Gift.

Es ist wieder erschienen unter dem Namen und in der Form des Dynamits.

Das Dynamit. Nobel verdankt man die Möglichkeit, sich des Nitroglycerins mit Nutzen zu bedienen. Derselbe fand, dass beim innigen Vermengen von etwa 70 Teilen Nitroglycerin mit 30 % feiner Kieselerde, sog. Kieselguhr, eine feste Masse entstand, welche das Nitroglycerin nicht durchsickern liess.

Das so hergestellte Dynamit ist zur Zeit der gebräuchlichste Stoff zur Ausführung aller Sprengarbeiten in der Technik und im Bergbau.

Die Kieselerde bringt kein aktives Prinzip zum Nitroglycerin hinzu, sie mildert nur

seine gefährlichen Eigenschaften in Bezug auf die Detonation durch einen Stoss. Einzig darauf beschränkt sich die Wirkung der Kieselerde.

Das so erhaltene Dynamit ist ein Körper, der sich bei einem Gehalt von 75% Nitroglycerin fettig anfühlt.

Bei einer Temperatur nahe an 10° gefriert das Dynamit und krystallisiert.

Die Detonation, die für gewöhnlich durch eine Patrone eingeleitet wird, kann bei gefrorenem Dynamit überhaupt kaum erfolgen.

Daher muss man diesen Körper im Winter erwärmen. Das Auftauen des Dynamits hat eine Hekatombe von Opfern gefordert.

Das Dynamit explodiert unter dem Schlag eines Hammers, einer Kugel; zur Berührung mit einem brennenden Körper gebracht, brennt es langsam, verändert aber zuweilen diese Reaktion in eine heftige Explosion.

Die Gase, welche es freisetzt, gehören zu den allerschädlichsten, besonders wenn die Zersetzung durch Flammen stattfindet, nachdem ein verfehlter Schlag erfolgt ist.

Die Formel des Nitroglycerins und die Reaktionen, welche die Detonation begleiten, sind nach Sarran und Vieille die folgenden:

$$\text{Nitroglycerin} = C_6\,H_2\,(Ag\,O_6\,H)_3.$$

Im Moment der plötzlichen Entzündung treten folgende Reaktionen ein:

$$C_6 H_2 (N O_6 H)_3 = 3 C_2 O_4 + 5 H O + 3 N + O.$$

Der Sauerstoff des Nitroglycerins wird weder durch den freien Wasserstoff noch durch den Kohlenstoff völlig gebunden.

Wenn eine langsame Verbrennung mit Flammen stattfindet, mildert sich die Reaktion. Sarran und Vieille haben die erzeugten Gase analysiert und folgende Zahlen gefunden:

Bezogen auf 100 Gasvolume, bei einem verfehlten Schlag:

NO_2	=	48,2	Volume.
CO	=	35,9	„
CO_2	=	12,7	„
H	=	1,6	„
N	=	1,3	„
C_2H_4	=	0,3	„

Die entstandenen Gase sind also sehr schädlich, Kohlenoxyd und Dioxyd des Stickstoffs bilden allein fast die gesamte Masse.

Das Dynamit ist empfindlich gegen Wasser, denn es löst sich darin allmählich. Das Gemisch von Wasser mit Nitroglycerin zerstört das Dynamit und verändert es gänzlich.

Das Dynamit bringt im Augenblick seiner Explosion einen furchtbaren Druck hervor. 1 Kilogramm Dynamit mit 75% erzeugt 1200 Kalorien und entwickelt 350 Liter Gas, reduziert auf 0°.

Der Maximaldruck steigt im Augenblick der Explosion, bei einer theoretischen Temperatur von nahe 5378°, auf fast 12000 Kilogramm!

Das Dynamit erzeugt also bei gleichem Gewicht nahe dreimal mehr permanente Gase, als das gewöhnliche Pulver. Das Dynamit zerschlägt eine Schiene, einen Baumstamm bei seiner Detonation, wenn es mit diesen Körpern in Berührung ist, was das Pulver nicht leisten kann.

Sprenggelatine. Man hat in den letzten Jahren ein besonderes Dynamit fabriziert, das von der Schiessbaumwolle die Eigenschaften der Schmiegsamkeit und Kapillarität entlehnt, wenn es komprimiert wird, nämlich die Sprenggelatine.

Wenn man 7 % Schiessbaumwolle oder Kolodium in Nobel'schem Glycerin löst, so erhält man dieses neue Produkt, das sich in der Form einer gelatineartigen, elastischen, durchsichtigen, ein wenig gelblichen Verbindung darstellt.

Vom Dynamit ist es deutlich durch den sehr kostbaren Vorteil geschieden, nicht die so gefährlichen Ausschwitzungen zu geben, welche man bei den gewöhnlichen Dynamiten fürchtet.

Fügt man diesem gummiartigen Produkt noch 3 bis 4 % Kampher hinzu, so macht man die Sprenggelatine gegen äussere Stösse un-

empfindlich, ohne ihre Kraft im Augenblick der Detonation merklich zu verringern.

Man ist alsdann gezwungen, besondere sehr kräftige Sprengpatronen anzuwenden, die doch häufig unwirksam bleiben. Man hat sechsmal so viel Kraft für den Anfangsstoss nötig, um eine Explosion bei dieser Gelatine zu erhalten, als bei dem gewöhnlichen Dynamit.

Dieses Produkt absorbiert kein Wasser.

Sprenggelatine gefriert bei 12° und wird im Gegensatzt zu Dynamit gegen den Stoss sehr empfindlich oder doch empfindlicher; sie brennt in freier Luft; erwärmt detoniert sie bei etwa 204°. Ihre Explosivkraft ist der des Dynamits sehr ähnlich.

Durch ihre Verbrennung bei der Detonation entstehen Kohlensäure, Stickstoff und Wasser.

Wenn die Sprenggelatine durch einen verfehlten Schlag brennt, so entwickelt sie enorme Quantitäten schädlicher Gase, wie das Dynamit.

1 Kilogramm setzt 1535 Kalorien frei.

1 Kilogramm entwickelt 709 Liter Gas, wobei sich das Wasser in Dampfform bei einer sehr hohen Temperatur befindet, theoretisch über 5500°.

Die Panklastite. Turpin hat in jüngster Zeit Patente auf Explosivstoffe genommen, deren Zusammensetzung ganz auf der Wirkung der Untersalpetersäure beruht, gemischt mit Schwefelkohlenstoff, Aether, Petrolessenzen etc.

Die Gase, die aus diesen Explosivstoffen entstehen, machen ihre Benutzung sehr gefährlich. Die energische Wirkung der Untersalpetersäure auf die Metalle und die organischen Substanzen macht das Hantieren mit diesen Panklastiten zu einer für die grosse Praxis sehr problematischen Sache.

Resumé.

Wir haben soeben ein kurzes Resumé der hauptsächlichsten Explosivstoffe gegeben, die heute von den verschiedenen Regierungen in ihren Armeen und von den Ingenieuren für Sprengungen benutzt werden.

Wir sehen überall, dass die benutzten und in der Praxis verwendeten Stoffe feste Körper sind.

Für jeden Explosivstoff konstatieren wir die Gefahr bei der Behandlung in Hinsicht auf die Möglichkeit von Stössen.

Bei einigen Explosivstoffen bilden die noch unbekannten Ursachen der Explosion ein Damokles-Schwert, das über allen Pulverniederlagen hängt.

Von den meisten Verbindungen werden bei der Detonation schädliche Gase in grosser Menge erzeugt.

Das Gefrieren des Dynamits, das schon bei 10° eintritt, und die Notwendigkeit, diesen Kör-

per vor seiner Verwendung aufzutauen, ist eine beständige Ursache von Unglücksfällen

Das Durchsickern des flüssigen Dynamits aus dem kieselartigen Stoff, in welchen man es einschliesst, ist eine fortwährende Gefahr, die mit der Verwendung und der Aufbewahrung des Dynamits verbunden ist.

Die rauchlosen Pulver wirken im allgemeinen zu plötzlich, zerstörend, und verbreiten sehr schädliche Gase.

Der Preis dieser verschiedenen Explosivstoffe ist ziemlich hoch.

Die Detonationen werden durch so verschiedene Ursachen hervorgerufen, dass sie unter bestimmten zufälligen Bedingungen gar nicht zu vermeiden sind, unter anderen wieder sich nicht ganz sicher hervorrufen lassen.

Die hauptsächlichste Arbeit der bei der Explosion entstandenen Gase hat bisher in den Feuerwaffen noch nicht verwendet werden können.

Das ist der augenblickliche Stand des Kapitels der Pulver und Explosivstoffe in der Chemie.

II. Programm eines idealen Explosivstoffes.

Nachdem wir soeben die Liste der Explosivstoffe haben Revue passieren lassen, wobei wir auf ihre Eigenschaften und Fehler eingegangen

sind, wird es gut sein, den genauen Umriss dessen zu geben, was die ballistische Wissenschaft von einem idealen Explosivstoff verlangt.

Die verschiedenen Anforderungen, gemäss deren dieser Explosivstoff Verwendung finden soll, bestimmen seine Eigenschaften; wenn wir uns über diese klar geworden sind, werden wir mit Nutzen die Mittel suchen können, welche die Chemie uns an die Hand giebt, um die theoretischen Gesichtspunkte und die bezeichneten Forderungen materiell zu verwirklichen.

Man muss die Forderungen nach ihrem Wert gruppieren und den experimentellen Bedürfnissen, welche den Ausblick hindern, die kleinste Zahl von Punkten überlassen.

Diesen Weg wollen wir einschlagen.

Nach dem Ziel, das man erreichen will, kann man die Verwendung der Explosivstoffe in drei Richtungen vornehmen.

1. Verwendung der Explosivstoffe bei allen Feuerwaffen, um den Granaten, Kanonen- und Flintenkugeln die grösstmögliche Anfangsgeschwindigkeit zu erteilen.

2. Verwendung der Explosivstoffe in den Bergwerken, um die Felsen und Materialien zu dislozieren, ohne sie zu pulverisieren.

3. Verwendung der Explosivstoffe, um ein Hindernis zu zerstören, zu zerbrechen und zu

zerschmettern, die Panzerung eines Schiffes zu durchbrechen, eine Schiene zu durchschlagen, einen Felsblock zu öffnen, eine Kanone zu zerschmettern.

Für jede dieser Verwendungsarten werden wir einen Explosivstoff verlangen, dessen Eigenschaften ganz spezielle und besonders geeignet sein müssen, den bestimmten Zweck zu erreichen.

Wir wollen sie nun der Reihe nach prüfen.

1. Verwendung der Explosivstoffe bei den Feuerwaffen.

Alle Feuerwaffen sind aus einer metallischen, im allgemeinen stählernen Röhre gebildet.

Im Stoss befindet sich die Verbrennungskammer für das Pulver, und die Seele der Kanone oder Flinte dient dazu, den Druck der bei der Detonation des Explosivstoffes entwickelten Gase auf das Projektil wirken zu lassen.

Eine sehr einfache Erwägung aus der praktischen Mechanik zeigt bis zur Evidenz, dass man das Maximum des Nutzeffektes erhalten wird, wenn es gelingt, die Gase unter dem Projektil mit einem konstanten Maximaldruck wirken zu lassen, der mit der Form und Natur der Kanone, ihrer Struktur und ihrem Widerstand an den verschiedenen Stellen, wenn das Projektil die gesamte Länge der Seele durchläuft, verträglich ist.

Die Stahlröhren können ohne Schaden und ohne dauernde Deformation Drucke von 3000 bis 3500 Atmosphären ertragen. Oberhalb dieser Drucke beginnen die Deformationen und beschädigen das Material.

Wenn man also einem Kanonen- oder Flintenrohr den Maximal-Widerstand giebt, so wird der ideale Explosivstoff während des ganzen Laufs des Projektils einen konstanten Druck von etwa 3000 Atmosphären entwickeln müssen.

Wir sehen folglich, dass der wirkliche Widerstand des Stahls die charakteristische Eigenschaft des Explosivstoffes bei den Feuerwaffen bestimmt, nämlich den Maximaldruck der wirksamen Gase. Nennen wir

M die Masse des Projektils

P das Gewicht des Projektils,

so hat man

$$M = \frac{P}{g} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1).$$

wo

$$g = 9{,}^{m}8088 \text{ Meter}$$

ist. Es sei

s der Querschnitt der Seele der Waffe

und

F der konstante Druck des Stosses der Gase.

Wenn wir den Maximaldruck von 3000 Atmosphären oder genauer 3000 Kilogramm pro Quadratcentimeter annehmen, so können wir

das Gesetz der Geschwindigkeiten des Projektils in der Seele der Waffe vom Beginn der Explosion bis zum Austritt aus der Waffe berechnen.

Man hat

$F = s$ in Quadratcentimetern $\times 3000$ kg.

Setzt man

$\frac{3000\ s}{g} = g'$, Beschleunigung in der Seele,

und nennen wir v die Geschwindigkeit in irgend einem Punkte nach einer Zeit t, so ist

$$v = g' \cdot t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$e = {}^1/_2\, g' t^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

das Volumen der Gase, die sich bilden müssen, indem sie den beim Vordringen der Kugel in die Seele frei werdenden Raum einnehmen, das Volumen dieser Gase wird also für jeden gelieferten Raum e sein.

Das Volumen der Gase bei 0^0 und 760^{mm} ist

$$\frac{s \times {}^1/_2 g' t^2 \times 3000}{1 + aT} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

wo T die Temperatur der Gase während der Explosion bezeichnet.

Aus der Praxis weiss man, dass T so niedrig wie möglich sein muss, unter 2000^0, wenn die Sache realisierbar ist.

Wenn die Temperatur der Gase zu hoch ist, so tritt eine chemische und physikalische Aktion der Gase auf die inneren Wände der Seele und auf die Winkel der Züge ein, die in den Reibungsflächen eingeschnitten sind.

Nehmen wir also als Temperatur 1900°, was sehr nahe der Maximaltemperatur ist, welche in der Praxis zugelassen wird.

Wenn wir bezeichnen mit

h die Länge einer Kanone,

so können wir das Volumen der Gase berechnen, das sich während des Ausschleuderns des Projektils und in einer in gleicher Weise bekannten Zeit bilden muss.

s·h ist das gesamte Volumen der Seele der Kanone und der Verbrennungskammer, die der Einfachheit halber mit demselben Querschnitt s vorausgesetzt werde.

Das Gesamtvolumen der Gase, zurückgeführt auf den Druck von 1 Kilo und die Temperatur von 0° ist ausgedrückt durch

$$\frac{s\,h \times 3000\,k}{1 + \frac{1}{273} \times 1900} = \frac{3000\,s\,h}{8} \quad \ldots\ldots \quad (5).$$

Um die Ideen für die Rechnung zu fixieren, nehmen wir s = 100 Quadratcentimeter an, also etwa 11 cm Durchmesser für die Seele des Stückes, und setzen h = 4,8 m.

Das innere Volumen der Kanone ist gleich

$$4{,}80 \times 100^{\text{cm}^2} = 48 \text{ Liter} = sh$$

das Volumen der Gase, reduziert auf 0° und 1 Kilo Druck ist also

$$\frac{3000 \times 48}{8} = 18000 \text{ Liter} \quad \ldots\ldots \quad (6).$$

Dieser Wert ist also das Maximalvolumen der Gase, welche die Ladung mit dem Explosivstoff hervorbringen muss, um dem Projektil das Maximum der Geschwindigkeit mitzuteilen.

Wenn wir jetzt die Art und Weise oder die Geschwindigkeit bestimmen wollen, mit der die Gase erzeugt werden müssen, so sehen wir aus der Formel (4), dass der Explosivstoff progressive Verbrennung haben muss. Das Volumen der Gase muss wachsen, wie das Quadrat der Zeiten, die von dem Anzünden oder dem Anfang der Explosion zu zählen sind.

Wenn man das Studium der Aufgabe weiter treibt, so erkennt man, dass zwischen dem Gewicht des Projektils und der Gesamtdauer der Explosion eine Bedingungsgleichung aufgestellt werden kann.

Wir wollen annehmen, dass man einen bestimmten Explosivstoff besitzt, der die oben genannte Eigenschaft realisiert, Gase proportional dem Quadrat der Zeiten zu entwickeln; diese direkt gemessenen Zeiten haben ein bestimmtes Volumen, das nicht beliebig ist.

Nehmen wir $^1/_{1000}$ Sekunde an für die gesamte Verbrennung. Um möglichst vollständig diesen Explosivstoff und diese Kanone auszunutzen, wird es nötig sein, dass das Projektil $^1/_{100}$ Sekunde in der Seele bleibt, bevor es das Geschütz verlässt.

Da die Bewegung des Projektils eine gleichmässig beschleunigte ist, so wird seine Anfangsgeschwindigkeit beim Verlassen des Feuerschlundes sein:

$$v = 800 \text{ Meter per Sekunde.}$$

Die Arbeit der Gase zum Schleudern wird also sein:

$$3000^{k} \times s \times 4{,}8 = 300000^{k} \times 4{,}8 \text{ Kilogrammeter}$$

$$\text{Arbeit} = 1440000 \text{ Kilogrammeter.}$$

Die Gleichung der lebendigen Kräfte ergiebt:

$$\tfrac{1}{2} \frac{P}{g} v^2 = 1440000$$

folglich hat man, wenn wir statt der Buchstaben gleich die Zahlenwerte schreiben:

$$P = \frac{2 \cdot g \times 1440000}{800^2} = 44 \text{ Kilogramm.}$$

Das Gewicht der Projektile ist also durch die Verbrennungsgeschwindigkeit des Explosivstoffes bestimmt.

Wenn man statt dessen zunächst kennt oder besser von vorn herein festsetzt das Gewicht des Projektils, welches am besten für das Kaliber der Waffe passt, so wird man daraus die Verbrennungsdauer für den Explosivstoff erhalten.

Nehmen wir das Gewicht von 20 Kilogramm für das Projektil an, das aus diesem Stück von 11 cm Durchmesser geschleudert werden soll, so wird sich die Rechnung folgendermassen gestalten:

$$\text{Masse des Projektils:} = \frac{20}{g}$$

Arbeit des Pulvers: $3000 \times 100^{cm^2} \times 4{,}8 = 1\,440\,000^k$

Geschwindigkeit *v* des Projektils gleich x.

$$^1/_2 \cdot \frac{20}{g} \cdot x^2 = 1\,440\,000$$

$$x = \sqrt{\frac{1\,260000 \cdot 2 \cdot g}{20}} = 1200 \text{ Meter per Sekunde.}$$

Indem man die doppelte Länge der Kanone durch die Anfangsgeschwindigkeit dividiert, erhält man die Explosionsdauer t

$$t = \frac{9 \cdot 6}{1200} = 0{,}008 \text{ Sekunde.}$$

In diesem Falle wird man einen rascher wirkenden Explosivstoff brauchen, als im vorhergehenden Beispiel.

Wir wissen also, dass jedem durch seine Verbrennungsgeschwindigkeit charakterisierten Explosivstoff für jede Waffe von bekanntem Kaliber ein Gewicht des Projektils entspricht, bei welchem das Maximum des Nutzeffekts der Gase zur Verwendung kommt.

Die Wärme, die sich durch den Stoss der Gase in mechanische Arbeit verwandelt, wird direkt bei der chemischen Reaktion erhalten; sie ist beträchtlich und kann leicht berechnet werden:

Es sei 431 Kilogrammeter das mechanische Aequivalent der Wärme.

Die Verwandlung von Wärme in Arbeit wird im allgemeinen Fall ausgedrückt sein durch Q:

$$Q = \frac{E \times s \times h}{431} \text{ verwandelte Kalorien.}$$

In dem oben gewählten mechanischen Beispiel hat man:

$$Q = \frac{1\,440\,000}{431} = 3341 \text{ Kalorien.}$$

Man muss diesen Verlust in Rechnung ziehen, damit die innere Verbrennungswärme des Explosivstoffes für diesen Verbrauch genügt, indem sie die Temperatur der Gase auf 1900° hält, eine Temperatur, die für den Druck von 3000 Kilogramm notwendig ist.

Mit diesen Daten wird es in gleicher Weise leicht möglich sein, zum voraus die Menge der gesamten Wärme festzusetzen, die der Explosivstoff für jede Ladung entwickeln muss.

Diese Gesamtmenge setzt sich aus drei hauptsächlichen Faktoren zusammen:

A) Wärme, die notwendig ist, um die ersten Stoffe vor der Explosion in Gas zu verwandeln, die gesamte latente Verdampfungswärme bis zu 1900°.

B) Die durch die Ausschleuderung des Projektils in mechanische Arbeit verwandelte Wärme, die wir während der vorigen Rechnung Q genannt haben.

C) Durch Strahlung und Leitung während der Explosion verlorene Wärme; diese Wärme erhitzt das Geschütz und die umgebende atmosphärische Luft.

Also die Gesamtsumme:

A + B + C Kalorien ist gleich der Wärme, welche durch die chemische Verwandlung des Explosivstoffes erzeugt wird.

Die Wärmemenge A ist ziemlich kompliziert. Ein Teil der Stoffe verdampft schon bei niedriger Temperatur, und dann werden die Gase bis zu 1900° erwärmt. Die latenten Wärmen und die spezifischen Wärmen kommen also in der Gesamtrechnung hinzu.

Indem man von Anfang an eine Temperatur von 1900° annimmt, eliminiert man eine Menge von Störungen in den berechneten chemischen Reaktionen, allein durch die Thatsache, dass die mehr oder weniger partielle Dissoziation der Stoffe fast vollständig beseitigt wird.

Der hohe Druck in Verbindung mit einer relativ niedrigen Temperatur sind Bedingungen, die für die gesamte Realisation der chemischen Reaktionen ungemein nützlich sind.

Ich bemerke noch, je niedriger die Temperatur der Gase in der Seele der Kanone ist, desto geringer wird die Differenz zwischen der Temperatur des Metalls der Wände und derjenigen der Gase.

Der Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung sowie die fortschreitenden Verluste in den Zügen der Seele werden auf ein Minimum reduziert.

Also muss für alle Feuerwaffen der ideale Explosivstoff folgende Bedingungen erfüllen:

1. Der Explosivstoff muss allmählich (progressiv) verpuffen.
2. Die Verpuffungsgeschwindigkeit, also das in der Zeiteinheit erzeugte Volumen der Gase muss vom Anfang der Explosion an mit dem Quadrat der Zeit zunehmen.
3. Die Temperatur der Gase darf während der Explosion nicht über 1900° ansteigen.
4. Wenn man die Feuerwaffen nach ihrem Kaliber gruppiert, wird man die beste Beziehung zwischen dem Gewicht des Projektils und der Menge des zugehörigen Explosivstoffes bei jeder Waffe bestimmen müssen.

Es wird also wahrscheinlich gut sein, drei Explosivstoffe zu haben: einen für die Kanonen grossen Kalibers, einen zweiten für die Feldartillerie und den dritten für die Infanterie.

In allen Fällen thut man gut, daran zu denken, dass das besondere Verhältnis zwischen dem Gewicht des Projektils und dem Kaliber der Waffe die Explosionsdauer bestimmt und umgekehrt.

Wir haben angenommen, dass der ideale Explosivstoff Gase unter einem konstanten Maximaldruck von 3000 kg unter dem Projektil erzeugt. Der Preis einer Ladung wird hierbei, wie man zugestehen muss, das Maximum erreichen.

Wenn der ideale Explosivstoff einen sehr niedrigen Handelspreis hat, so ist die Maximalladung stets die vorteilhafteste. Da diese Bedingung aber in der Praxis nicht realisierbar ist, so muss man nicht Träumen über unmögliche Dinge nachhängen.

Man wird also dazu geführt, einen mehr oder weniger teuren idealen Explosivstoff ins Auge zu fassen und zu prüfen, wie der Preis in die beste Beziehung zur Ladung und zum Projektil kommt.

Die Bedingungen des Problems sind sehr einfach und geben keinem Zweifel Raum.

Das Gewicht der Gase beim Austritt des Projektils ist dem Druck und dem Volumen der Seele direkt proportional.

Hierdurch ist das Gewicht des Explosivstoffes denselben Faktoren proportional, wenn die Temperatur 1900° als ein Maximum bestimmt ist. Wenn man also die Hälfte der Ladung vom Gewicht der Maximalladung sparen will, so werden die Gase die Kanone mit einem Druck von 7500 Atmosphären ver-

lassen. Man könnte in diesem Falle streng theoretisch ein aktiveres Pulver anwenden und von vornherein einen beträchtlicheren Druck als 3000 Atmosphären herstellen.

Man würde so einen Teil der verlorenen Arbeit wieder erhalten, aber man müsste die Unbequemlichkeiten zu starker Drucke, welche das Material angreifen, mit in den Kauf nehmen.

Der Verlust bei der theoretischen Arbeit der Entspannung der Gase, wenn die Maximalladung um die Hälfte reduziert wird, ist weit davon entfernt, dem Gewicht des ersparten Explosivstoffes proportional zu sein.

Indem man die Ladung um die Hälfte vermindert, verliert man wenig mehr, als ein Viertel der gelieferten mechanischen Arbeit.

Man hat also einen kaufmännischen Vorteil, wenn man schwache Ladungen anwendet und die Länge der Feuerwaffen vermehrt, um so die mechanische Arbeit zurückzuerhalten, die in den heissen Gasen bei ihrem Austritt aus der Seele aufgespeichert sind.

Das sind die mechanischen Bedingungen, die durch die Gesetze der Ballistik bestimmt sind, und welche die Eigenschaften feststellen, die man für die Explosivstoffe fordern muss, um den Maximaleffekt bei den Feuerwaffen zu erhalten.

2. Verwendung der Explosivstoffe in den Bergwerken.

Bei den meisten Bergwerksarbeiten, unterirdischen Galerieen, Tunnels etc. stösst man in der Praxis auf mehr oder weniger harte Felsen, die man fortreissen oder durchsetzen muss.

Hier sind die Explosivstoffe an ihrem Platz.

Die Wahl des Explosivstoffes wird nach der Natur des Felsens und der beabsichtigten Wirkung variieren.

Wenn es sich darum handelt, einen Steinbruch auszubeuten und Steine von bestimmter Form zu verkaufen, so wird man diese Felsen nicht pulverisieren und nicht durch zu plötzliche Stösse zerspalten dürfen.

Man muss notwendigerweise langsam wirkende Pulver anwenden, indem man mit längeren Entzündungszeiten operiert.

Wenn aber der Explosivstoff langsam wirkt, werden die Gase sich Ausflussöffnungen bahnen und sich damit begnügen, auf die Felsen zu stossen, deren Elastizität ihnen den Durchgang erlaubt; der Nutzeffekt wird schwach oder sehr begrenzt sein. Um diesem Übelstand zu begegnen, muss man hier langsam wirkende, aber sehr progressive Explosivstoffe anwenden.

Sobald die Felsen gespalten sind, dringen die Gase reichlich hervor und versetzen thatsächlich die getrennten Felsen.

Mit sehr progressiven Explosivstoffen wird der Rest der Blöcke gesichert, aber die Stücke bleiben gross und werden nicht fortgeschleudert oder pulverisiert.

Die Explosivstoffe, welche das grösste Gasvolumen liefern, sind hier die besten, falls sie zu den langsam wirkenden Explosivstoffen gehören. Der Explosivstoff wird von Steinklopfern, Maurern etc. bearbeitet und muss daher dem Stoss widerstehen, ohne zu explodieren. Man muss ihn in die Minenlöcher stossen und auf dass Füllwerk klopfen können, ohne dass irgend eine Gefahr für alle mit den Arbeiten beschäftigten Menschen ensteht.

Diese Eigenschaft des Explosivstoffes macht sich hier mit so gebieterischer Notwendigkeit geltend, dass es unnütz ist, darüber weiter zu reden.

In unterirdischen Galerieen, wo gar keine oder nur schlechte Ventilation ist, dürfen die Gase nicht schädlich sein; ein guter Explosivstoff muss daher unschuldige Dämpfe, aber nicht giftige Gase bilden.

Die Entzündung des Explosivstoffes muss ganz bestimmt, niemals zufällig erfolgen und darf nicht durch einen Einfluss per Distanz zufolge einer benachbarten Explosion geschehen, wie es beim Dynamit häufig der Fall ist.

Resümieren wir die Eigenschaften des idealen Explosivstoffes für die Verwendung in den Bergwerken:

1. Der Explosivstoff muss langsam wirkend und progressiv sein.
2. Der Explosivstoff muss das grösstmögliche Gasvolumen entwickeln.
3. Der Explosivstoff muss vollkommen beständig bei Stoss sein und darf nur unter Bedingungen explodieren, die leicht herzustellen und vorherzusehen sind.
4. Der Explosivstoff darf nach der Explosion kein giftiges Gas verbreiten.
5. Der Explosivstoff muss unter Wasser und in jeder möglichen Umgebung explodieren können.

3. Verwendung der Explosivstoffe zur Zerstörung.

Die ideale Wirkung des idealen Explosivstoffes ist die rasche, augenblickliche und vollkommene Zerstörung eines jeden Hindernisses. Handle es sich um einen Eisenbarren, um eine Platte eines Panzerschiffes, um einen Felsen, der eine Klippe unter Wasser bildet, um einen zu durchschneidenden Baum, alle diese Körper müssen zerkrümelt, pulverisiert werden, diese Arbeit erwartet man von dem Explosivstoff.

Der ideale Explosivstoff ist mithin rasch definiert. Er muss in möglichst kurzer Zeit eine möglichst grosse Gasmasse mit der höchsten Temperatur entwickeln.

Der Explosivstoff, der am rapidesten explodiert, wird der beste sein. Wenn man zu dieser Eigenschaft die Abwesenheit von giftigen Gasen nach der Explosion, sowie die Widerstandsfähigkeit gegen Stoss hinzufügt, ferner eine Explosion, die unter vorherzusehenden und leicht realisierbaren Bedingungen bestimmt erfolgt, so hat man die wesentlichen Eigenschaften dieses Explosivstoffes festgestellt.

Wir können also so resümieren:

1. Der Explosivstoff muss in möglichst kurzer Zeit explodieren.
2. Der Explosivstoff muss im kleinsten Volumen die grösste Gasmenge entwickeln, die mit den chemischen Reaktionen verträglich ist.
3. Die Temperatur der Reaktion muss möglichst hoch sein.
4. Die durch die Explosion erzeugten Gase dürfen nicht giftig sein.
5. Der Explosivstoff muss Stössen Widerstand leisten und darf nur unter vorherzusehenden und leicht realisierbaren Bedingungen explodieren.

4. Eigenschaften des idealen Explosivstoffes, die bei allen Verwendungsarten gemeinsam sind.

Obwohl wir in den drei allgemeinen oben skizzierten Richtungen sehen, dass der zu findende ideale Explosivstoff für jede derselben sehr verschiedene Eigenschaften darbieten muss, so sind doch einige gemeinsame Eigenschaften zu beachten.

Zunächst ist es eine Grundforderung, die vom Beginn dieser Untersuchungen festgehalten wurde, dass die Fabrikation dieser Explosivstoffe für die damit betrauten Arbeiter ungefährlich sein muss.

Ein Teil der Bevölkerung soll nicht in immerwährender Angst in der Nähe der Kriegsvorräte und Niederlagen schweben.

Dies scheint mir das wesentlichste Erfordernis bei dieser Frage.

1. Einen Explosivstoff zu erhalten, der mit Sicherheit, ohne Gefahr, hergestellt wird, das ist der wesentliche Zweck, der alle Forderungen in sich schliesst.
2. Dieser ideale Explosivstoff muss auch ohne Furcht vor den Manipulationen, den Stössen auf dem Transport, dem zufälligen Stürzen transportiert werden.
3. Der Explosivstoff darf seinen physikalischen Zustand unter dem Einfluss der

atmosphärischen Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen nicht verändern.

4. Der Explosivstoff darf nicht zerfliessbar sein.
5. Er darf überdies nicht gefrieren, wie das Dynamit.
6. Auch darf er nicht verdampfen oder sich polymerisieren, wenn er lange in den Kellern der Magazine und Niederlagen liegt.
7. Er darf nicht giftig sein, weder im Anfangszustand, noch in den nach der Explosion entstandenen Gasen.
8. Endlich muss der ideale Explosivstoff billig sein und sich leicht herstellen lassen, ohne dass eine besondere Komplikation nötig ist, um ihn aus den Rohstoffen zu erhalten.

Im Vorhergehenden haben wir, scheint mir, die notwendigen Eigenschaften auseinandergesetzt, die man berechtigter Weise von einem Explosivstoff fordern muss, der in passender Weise die Forderungen der modernen Industrie und Kriegskunst erfüllt.

Wir wollen nun dieses Programm praktisch zu realisieren suchen.

III. Der neue Explosivstoff.

Wenn man aufmerksam in den Werken der modernen Chemie über den mechanischen und thermischen Effekt aller bekannten Reaktionen der Chemie liest, so kann man sie, wie es auch die Chemiker gethan haben, von Anfang an in zwei grosse Gruppen teilen, die für die Explosivstoffe und ihre Theorie von besonderer Wichtigkeit sind. Es sind das die exothermischen Reaktionen, welche bei ihrem Verlauf Wärme entwickeln, und die endothermischen, welche umgekehrt Wärme verbrauchen. Diese beiden grossen Klassen von chemischen Reaktionen bestimmen sofort zwei Arten von Explosivstoffen:

Erstens diejenigen, deren mechanische Wirkung durch die Erhöhung der Temperatur zufolge der Dissoziation der Produkte der Reaktion gehemmt wird, und zweitens die Explosivstoffe, deren äussere mechanische Wirkung im Gegenteil mit der Steigerung der Temperatur unbegrenzt wächst.

Diese Klassifikation ist so wesentlich und so fundamental beim Studium der Explosivstoffe, dass man einzig dadurch, dass man die beiden grossen Klassen von Thatsachen in rationeller Weise beachtet, a priori den Explosivstoff zusammensetzen kann, der das zuvor entwickelte Programm verwirklicht.

Es ist wichtig, in Bezug auf diese fundamentalen Punkte unserer Theorie die Ideen deutlich zu fixieren.

Nehmen wir Wasserstoff und Sauerstoff in den Gewichtsverhältnissen 8 O und 1 H, welche Wasser liefern. Die Reaktion entwickelt eine enorme Wärmemenge, sie ist exothermisch. Die beiden Gase verbinden sich, steigern die Temperatur des Gewichts, und wenn die Temperatur genügend hoch ist, bleibt die Reaktion stationär, ein Teil des Sauerstoffs ist frei, ein Teil des Wasserstoffs bleibt gleichfalls frei, und der gebildete Wasserdampf vervollständigt die ursprüngliche Masse der Gase.

Durch direkten Versuch haben die Chemiker Folgendes gefunden:

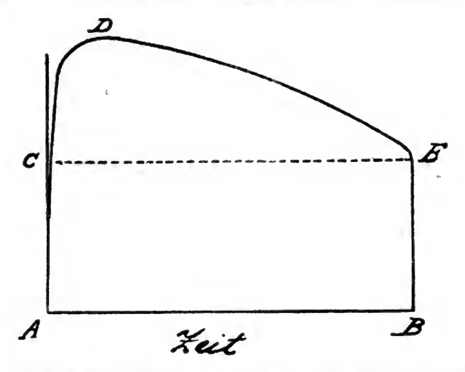
Nehmen wir ein Kilogramm des Gasgemisches Sauerstoff und Wasserstoff im Verhältnis 8O und 1H und leiten die Reaktion ein, so müsste die Temperatursteigerung ungefähr 6000° betragen und der Druck bei konstantem Volumen auf 20 Atmosphären steigen. Für die Rechnung sind dabei die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac zu Grunde gelegt.

Statt dessen beträgt der experimentelle Druck nur 7 bis 9 Atmosphären.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft ist die wahrscheinlichste Lösung dieser auffälligen Anomalie folgende:

Sobald die Temperatur der Gase 2000° bis 2100° erreicht hat, beginnt die Dissoziation und hält den Fortgang der Erscheinung auf. In dem Masse, wie durch die Wände des Rezipienten Abkühlung hervorgebracht wird, vollendet sich die Verbindung; wie aber der Anteil der freien Gase Wasserstoff und Sauerstoff sich beständig vermindert, so erniedrigt sich auch progressiv die Temperatur der Reaktion.

Das Diagramm der Explosion der beiden Gase kann also so gezogen werden, wie es hier folgt, indem man als Abszisse die Zeit und als Ordinate die Temperatur nimmt.



Die Verbrennung bringt die Gase augenblicklich auf 1200°. von 1200° an konstatiert man einen Anfang der Dissoziation oder der Verlangsamung bei der Reaktion, die indessen

sehr rasch das Maximum der Temperatur in D erreicht. Von D an gestatten die Wärmeverluste den Gasen, sich zu verbinden, und wenn die Temperatur nahe 1200° ist, ist alles Gas in Wasserdampf verwandelt, die Reaktion ist beendet.

Da der Druck des freien Sauerstoffs und Wasserstoffs gegen das Ende der Reaktion sehr schwach ist, so entspricht die Endtemperatur dem Anfang der Dissoziation des Wasserdampfes.

Die Gesetze der Dissoziationsspannungen treten hier in Bezug auf die Temperaturen an Stelle der Gesetze der Maximaldrucke der gesättigten Dämpfe der flüchtigen Flüssigkeiten.

Bekanntlich ist die Relation zwischen den Temperaturen und den Spannungen stets eine Exponentialfunktion.

Einige Autoren geben eine so starke Wirkung zufolge der Dissoziation nicht zu, sie sind alsdann zu der Annahme gezwungen, dass die spezifischen Wärmen der Gase mit den Temperaturen in unwahrscheinlichen Verhältnissen wachsen, vom Einfachen aufs Vierfache. Man würde zu der Annahme geführt werden, dass der Sauerstoff und der Wasserstoff, einfache Gase, so eine wachsende Energie in ihrer eigenen Masse ansammeln, und dass sie in ihrem eigenen Innern einen Beginn der Zersetzung

erleiden, indem man ihre spezifische Wärme behandelt, wie eine entstehende latente Wärme.

Wir unsererseits tragen kein Bedenken, die reale Wirkung der Dissoziation des Wasserdampfes anzunehmen und den Aenderungen der spezifischen Wärme seiner Komponenten nur eine sekundäre Rolle zuzuweisen.

In der That führt die Spektral-Analyse des Lichtes beim Knallgasgebläse zur Annahme einer Temperatur von 2000° bis 2100°, diese ist also die höchste, die man erreichen kann, und daher ist sie die obere Grenztemperatur für die Dissoziation des Wasserdampfes unter atmosphärischem Druck.

Die gesamte Wärmemenge wird nur unter 1200° als der unteren Grenze mit dem Anfang der Dissoziation erhalten.

Wenn der Druck der Gase auf 2000 bis 3000 Kilogramm per Quadratcentimeter steigt, so steigt auch die obere Grenztemperatur der Dissoziation, aber um geringe Grössen, oder die besondere Form der geometrischen Relationen, welche zufolge der thermodynamischen Prinzipien die Temperatur und den entsprechenden Druck mit einander verbinden.

Diese Betrachtungen führen uns zu dem wichtigen Resultat, dass, wenn man gasförmigen komprimierten Sauerstoff und Wasserstoff in einer widerstandsfähigen metallischen Um-

hüllung zusammenbringt, der erhaltene Maximaldruck, das zehn- bis elffache des anfänglichen Druckes sein wird, und dass die erhöhte Temperatur bestehen bleiben wird, bis die äusseren Verluste die ganze Bildungswärme des Wassers, das sich während der Reaktion bildet, absorbiert haben.

Man erkennt sofort, welche praktischen Konsequenzen sich aus diesen Thatsachen ergeben.

Ein aus komprimierten und aktiven Gasgemischen zusammengesetzter Explosivstoff giebt einen sehr plötzlichen Maximalstoss, der niemals das zehn- bis elffache des Anfangsdruckes übersteigt, und ist fähig, viel Wärme mitzuteilen ohne grosse Aenderung des absoluten Temperaturwertes.

Was wir soeben für das Gasgemisch Wasserstoff und Sauerstoff gesagt haben, kann für alle Körper wiederholt werden, die einer direkten Vereinigung unter Wärmeentwicklung fähig sind.

Chlor und Wasserstoff $H + Cl$
Grubengas u. Sauerstoff $C_2H_4 + O_8 = C_2O_4 + 2H_2O_2$
Acetylen u. Sauerstoff $C_4H_2 + O_{10} = 2C_2O_4 + H_2O_2$
Aethylen u. Sauerstoff $C_4H_4 + O_{12} = 2C_2O_4 + 2H_2O_2$
etc. etc. etc. etc.

Die Dissoziation der Kohlensäure folgt denselben Gesetzen, wie die des Wasserdampfes,

aber bei der Kohlensäure macht sich der Einfluss der beginnenden Dissoziation schon in einer starken Erhöhung der spezifischen Wärme bei hohen Temperaturen bemerkbar.

Die endothermischen Reaktionen führen zu ganz verschiedenen Resultaten. Um sie hervorzurufen und in Gang zu halten, muss man ihnen Wärme liefern, also bringen sie alle ohne Ausnahme Körper hervor, die fähig sind, sich unter Wärmeentwicklung zu zersetzen, d. h. sie werden Explosivstoffe sein. Diese Explosivstoffe rufen bei der Zersetzung Reaktionen hervor, die umgekehrt verlaufen wie die ersten, und sie würden durch Erhöhung der Temperatur auch nicht um einen Grad gemildert werden, da sie hierdurch im Gegenteil schlimmer werden.

Nehmen wir als klassisches Beispiel das Knallquecksilber:

$$C_4N_2Hg_2O_4 = 2\,C_2O_2 + Hg_2 + N_2.$$

Das Kilogramm entwickelt 463 Kalorieen.

Geht man von den Komponenten, Kohlenoxyd, Quecksilber und Stickstoff, aus, so muss man 463 Kalorieen zur Bildung des Knallquecksilbers liefern.

Es ist klar, dass vom Beginn der Zersetzung an alle in Freiheit gesetzten Gase vorhanden sind, und dass sie um so schwerer zu verflüssigen sind, je höher die Temperatur ist.

Wenn selbst das Kohlenoxyd dissoziiert ist, so sind der Sauerstoff, die Quecksilberdämpfe und der Stickstoff aufs äusserste komprimiert und erzeugen den phänomenalen Stoss dieses Explosivstoffes.

Die Explosivstoffe, die man also durch die vorgängige Wirkung endothermischer Reaktionen erhält, bilden die furchtbare Gruppe der plötzlich wirkenden, zerstörenden, unwiderstehlichen Explosivstoffe.

Man erkennt daher deutlich den fundamentalen Unterschied zwischen den Explosivstoffen, die man durch eine unmittelbare Verbindung von zwei oder mehreren Körpern erhält, die zusammengebracht exothermische Reaktionen geben, und denjenigen, die das Erzeugnis vorhergängiger endothermischer Reaktionen sind.

Nachdem diese Feststellungen erledigt sind, wollen wir zur Zusammenstellung der verschiedenen Explosivstoffe übergehen, welche die formulierten Programme zu verwirklichen haben.

Man muss zunächst die verschiedenen angedeuteten Forderungen nach ihrer Wichtigkeit gruppieren. Die praktische Brauchbarkeit und individuelle Schätzung eines jeden werden hier betreffs der ersten Punkte über-

einstimmen und erst gegen das Ende des Verzeichnisses divergieren können.

Liste der Forderungen nach ihrer Wichtigkeit.

1. Der Explosivstoff muss ohne jede Gefahr für die Arbeiter und Transporteure fabriziert und transportiert werden.

2. Der Explosivstoff muss stabil sein und darf seine Eigenschaften durch Aufbewahrung nicht modifizieren.

3. Der Explosivstoff muss möglichst vollständig dem technischen Programm seiner nach den Fällen verschiedenen Verwendung entsprechen.

4. Der Explosivstoff darf keine giftigen Dämpfe oder Gase aussenden.

5. Der Explosivstoff darf seinen physischen Zustand nicht ändern, nicht gefrieren, verdampfen, zerfliessen etc.

6. Der Explosivstoff muss leicht aus Rohstoffen herzustellen sein, die man sich reichlich und leicht überall verschaffen kann.

7. Der Explosivstoff muss unter der vollständigen Kontrolle der Regierung jedes Landes bleiben können, und es ist wünschenswert, dass bestimmte Fabrikationsbedingungen nicht unbemerkt von aussen hergestellt werden. Die zu leichte Fabrikation dieser Explosivstoffe bildet angesichts der Geistesrichtung be-

stimmter Klassen der modernen Gesellschaft eine soziale Gefahr.

8. Der Explosivstoff muss leicht zu handhaben sein, in allen vorhergesehenen Fällen bestimmt explodieren, dagegen niemals aus irgend welcher zufälligen Ursache, die sich der möglichen Vorhersicht entzieht.

9. Der Explosivstoff muss billig sein, und seine nützlichen Wirkungen müssen in der Industrie verwertbar sein.

Wahl der Substanzen.

Die auferlegten Bedingungen reduzieren ipso facto die Wahl der verwendbaren Stoffe.

Die komprimierten Gase Sauerstoff und Wasserstoff genügen fast allen Bedingungen des Problems, wenn nicht die Schwierigkeit bestände, sie in widerstandsfähigen metallischen Bomben aufzuspeichern.

Die Gase: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenstoff sind überdies die einzigen Substanzen, welche es ermöglichen, nach der Explosion nicht giftige Gase in die Atmosphäre zu schleudern, und auch bei ihnen muss man noch bestimmte Verbindungen, wie das Kohlenoxyd und die Oxyde des Stickstoffs ausschliessen.

Je mehr man das Problem studiert, um so mehr reduziert sich die Zahl der Körper, und nach einer sehr langen mit Untersuchungen

hingebrachten Zeit bin ich dazu gelangt, nur sehr wenige Substanzen für fähig zu halten, eine angenäherte Lösung der einem idealen Explosivstoff auferlegten Bedingungen zu geben. Es ist unnötig, hier alle Versuche zu erwähnen, die aus diesem oder jenem Grunde gescheitert sind, wir wollen vielmehr gerade auf das Ziel losgehen und unsere Resultate auseinandersetzen.

Unter allen chemischen Stoffen finde ich nur drei, die fähig sind, das Problem vollständig zu lösen, nämlich:

1. Flüssiger Sauerstoff.
2. Flüssiger Wasserstoff.
3. Flüssiges Wasser.

Um flüssigen Sauerstoff zu erhalten, braucht man ausserordentliche Drucke und niedrige Temperaturen, aber das flüssige Stickstoffoxydul stellt ein Gemisch von 14 Teilen Stickstoff mit 8 Teilen Sauerstoff dar. Das flüssige Stickstoffoxydul fügt das unschuldige Gas Stickstoff dem Sauerstoff hinzu.

Für flüssigen Wasserstoff muss man ihn in den wasserstoffreichsten Körpern suchen, wie Aethylen, Methyl-Alkohol, Petrole etc.

Alle diese Körper sind stabil, ohne hohe Temperaturen unzersetzbar; sie sind neutral, sie üben keine ätzende Wirkung auf Metalle

oder organische Substanzen aus. Ueberall kann man sie sich leicht verschaffen.

Indessen erfordert die Fabrikation des Stickstoffoxyduls besondere Bedingungen, die unbemerkt von aussen nicht erfüllt werden können, überdies keine metallischen Rezipienten, die zur Aufnahme der explosiven Gemische bestimmt sind.

Um jeden Preis müssen wir die sauerstoffreicheren Stickstoffverbindungen als das Stickstoffoxydul zurückweisen; denn sie alle senden giftige Dämpfe aus, indem sie die Metalle angreifen. Die Nitro-Glycerine aller Art würden nützlich für sichere Explosivstoffe nicht zu verwenden sein. Die Chlorate müssen aus denselben Gründen ausgeschlossen werden.

Das Material der Rohstoffe, die wir als verwendbar zur Fabrikation neuer Explosivstoffe behalten, ist also folgendes:

Salpetersaures Ammoniak.
Die Alkohol-Reihe.
Die Aether-Reihe.
Die Kohlen - Wasserstoffe, besonders die wasserstoffreichen.
Komprimierter gasförmiger Sauerstoff.
Flüssiges Wasser.

Wenn wir diese Stoffe unter verschiedenen Formen und in verschiedenen Verhältnissen verbinden, so werden wir das vorgelegte technische

Problem in einer Weise gelöst haben, die für die Praxis zur Wahl eines normalen Explosivstoffes ausreicht.

IV. Theorie des neuen Explosivstoffes.

Die Theorie des neuen Explosivstoffes, der aus den verschiedenen im vorhergehenden Kapitel genannten Substanzen zusammengesetzt ist, beruht wesentlich auf der kombinierten Wirkung der unmittelbaren exothermischen Reaktionen und der Reaktionen von Substanzen, die ihrerseits vorher durch endothermische Reaktionen erhalten wurden.

Mit einem Wort, durch die rationell geleitete Wirkung der plötzlichen Zersetzung gewisser Körper und der allmählichen Verbindung anderer Körper in derselben Umgebung können wir alle verlangten Eigenschaften des normalen Explosivstoffes erhalten, in drei Stärken, die nach den drei grossen Richtungen, die für die Praxis erfordert werden, abgestuft sind.

Nehmen wir eine Kartusche aus Metall mit festen Wänden und füllen sie mit einem Gemisch von flüssigem Stickstoffoxydul und flüssigem Aethylen. Wir nehmen ein solches Gewicht, dass der Sauerstoff des Stickstoffoxyduls vollständig den Wasserstoff und den Kohlenstoff des Aethylens verbrennen kann.

Wir stellen ganz allgemein das Diagramm der Explosion her, bevor wir alle Ausdrücke berechnen.

Erste Phase. Man setzt das Gemisch durch einen elektrischen Funken, einen rotglühenden Draht oder eine Zündpille mit Knallquecksilber in Brand.

Die Zersetzung des Stickstoffoxyduls macht Wärme frei: 10 Kalorien per Aequivalent, es zersetzt sich also vom Beginn der Verbrennung mit erstaunlicher Geschwindigkeit das gesamte Stickstoffoxydul in komprimierten gasförmigen Stickstoff und in komprimierten freien Sauerstoff, die Dissoziation würde diese Zersetzung, die von den durch vorherige endothermische Reaktionen erhaltenen Produkten herrührt, nicht mässigen können. Die entwickelte Wärme erhöht die Temperatur der gesamten Masse.

Wenn man also die Einführung des Wasserstoffs auf die kleine Menge beschränkt, die notwendig ist, um die Zersetzung des Stickstoffoxyduls hervorzurufen, so wird derselbe einen zerschmetternden momentanen Stoss ausüben, der jedes Reservoir sprengen und die Umhüllungen in Staub verwandeln wird.

Zweite Phase. Wenn die Menge des Kohlenwasserstoffes beträchtlicher ist, so zersetzt ein Teil der erzeugten Wärme diesen Kohlenwasserstoff in seine Elemente; es findet

somit eine Absorption von Wärme statt gleich der Bildungswärme des Kohlenwasserstoffes.

Dritte Phase. Aber in demselben Moment wird sich der freie Sauerstoff, der von dem zersetzten Stickstoffoxydul herrührt, mit dem Wasserstoff und der Kohle verbinden, um sie zu verbrennen und eine exothermische Reaktion hervorzurufen, die durch das Hervortreten von Dissoziationsphänomenen gemässigt wird.

Die Temperatur wird also ein Maximum erreichen, das durch die Dissoziationsspannungen des Wasserdampfes und der Kohlensäure reguliert wird. Ein Teil der chemischen potentiellen Energie bleibt noch disponibel, so dass die Temperatur sich nicht erniedrigt.

Vierte Phase. Da man alle diese Phasen zufolge der genauen Kenntnis der entbundenen und absorbierten Wärmemengen berechnen kann, so kann man in diese Umgebung mit den angegebenen Komponenten eine bestimmte Menge flüssigen Wassers einführen, welche den Ueberschuss dieser disponiblen chemischen Energie absorbiert. Diese Wassermenge erhöht ihre Temperatur, verdampft, und wirkt in der Umgebung, durch die sie begrenzt ist, wie ein Gas unter Druck.

Indem man die Gewichtsverhältnisse der verschiedenen Komponenten variiert, kann man also das Vorwiegen der Wirkung derjenigen

der vier Phasen mildern oder stärken, die man will, und kann von einem sehr zerstörenden Pulver zu einem langsameren und stets allmählich wirkenden übergehen; denn die Temperaturerhöhung wird vollständig durch die Wirkung des Hilfswassers reguliert, die nach Belieben die Geschwindigkeit der Verbrennungen verlangsamt. Das Wasser dient als Hemmschuh.

So rührt also bei dieser Art von Explosivstoffen der erste Teil der Reaktionen von der plötzlichen, augenblicklichen Zersetzung des Stickstoffoxyduls her; diese Zersetzung ist zerschmetternd, wenn das Stickstoffoxydul allein ist, nur begleitet von dem Zünder.

Die Zersetzung ist schnell, aber weniger plötzlich, wenn das Volumen oder Gewicht des Stickstoffoxyduls in dem Gemisch gegenüber andern Stoffen, die sich nach der Zersetzung mit dem Sauerstoff verbinden können, vermindert wird.

In diesem zweiten Fall ist die Arbeit der Gase viel beträchtlicher, denn ihre Menge ist stark vermehrt, da der Wasserdampf eine viel geringere Dichte hat als der Stickstoff, und der Wasserstoff der Reaktion in dem Gemisch mit einem sehr kleinen Anfangsvolumen vertreten ist.

Durch die Einführung von flüssigem Hilfswasser verlangsamt man schliesslich die Reaktion noch mehr, indem man die Ausbreitungs-

geschwindigkeit der Explosionswelle in der Flüssigkeit verringert, und man vermehrt merklich das Volumen der durch die gesamte Reaktion des Explosivstoffs erzeugten Gase.

Praktische Erfahrungen haben mir gezeigt, dass man einen grossen Teil des flüssigen Stickstoffoxyduls durch Ammoniak-Nitrat ersetzen kann; dies zersetzt sich in Wasser und Stickstoffoxydul, das sich seinerseits in Sauerstoff und Stickstoff, so wie gesagt ist, dissoziiert.

Ich habe auch die Wirkung von flüssigem Ammoniak, das mit Ammoniak-Nitrat zusammengebracht ist, geprüft, denn dieses Salz löst sich auf und zerfliesst in diesem Gase.

Indem ich dem Nitrat Ammoniak hinzufügte, der in dem Kohlensäure-Ammoniak gelöst war, erhielt ich ein festes Ammoniak - Karbonat, dessen Zersetzung in gasiger Form vollständig ist. Die Gegenwart der Kohlensäure und die Form der Körner des festen Produktes gestatten, die Zersetzungsgeschwindigkeit dieser Stoffe, die dem flüssigen Stickstoffoxydul beigemengt sind, zu variieren.

Fassen wir zusammen, so besteht unser neuer Explosivstoff im wesentlichen:

1. aus flüssigem Stickstoffoxydul,
2. aus Kohlenwasserstoffen, Alkoholen und Aethern, in verschiedenen Mischungsverhältnissen,

3. aus fakultativ hinzugefügtem Ammoniak-Karbonat und Ammoniak-Nitrat, trocken oder in Ammoniak gelöst,
4. aus einer variabeln Menge Wasser,
5. aus einem Gemisch von komprimiertem Sauerstoff und Wasserstoff, die zur Ersetzung des flüssigen Stickstoffoxyduls bestimmt sind, wenn man das Ammoniak-Nitrat benutzt, gleichgültig, ob es mit der Kohlensäure und dem Ammoniak und den Kohlenwasserstoffen zusammengebracht ist oder nicht.

Wir wollen nunmehr die thermischen und mechanischen Wirkungen dieser verschiedenen Explosivstoffe berechnen.

V. Berechnung der Wirkungen des neuen Explosivstoffes.

Wir werden durch Rechnung für jeden der vorgesehenen Explosivstoffe die entsprechenden Parameter zu bestimmen suchen, indem wir Schritt für Schritt den Reaktionen folgen, die sich abspielen, in Bezug auf die sich ergebenden Drucke und Temperaturen.

Wir werden alle Berechnungen auf die Gewichtseinheit 1 Kilogr. des Explosivstoffes beziehen; die Drucke sollen in Kilogr. per Quadratcentimeter, die Temperaturen in Centigraden ausgedrückt werden.

1. Explosivstoff. Flüssiges Stickstoffoxydul in Begleitung seines Zünders, dessen Wirkung zu vernachlässigen ist.

Die Formel des Stickstoffoxyduls ist in Aequivalenten:

NO = 22 Gramm,

14 Teile Stickstoff, } Stickstoffoxydul.
8 „ Sauerstoff, }

In einem Kilogr. flüssigen Stickstoffoxyduls hat man also

636,4	Gramm	Stickstoff
363,6	„	Sauerstoff
1000,0		

Aus direkten Versuchen weiss man, dass 22 Gramm flüssigen Stickstoffoxyduls bei der Zersetzung 8,1 Kalorien entbinden. Hieraus folgt, dass 1 Kilogr. dieser Flüssigkeit bei der Zersetzung in ihre Elemente entbinden wird:

368,55 entbundene Kalorien für 1 Kilogr. flüssigen Stickstoffoxyduls.

Anderseits ist bekannt, dass die spezifische Wärme des gasförmigen Sauerstoffs und Stickstoffs ist:

spezifische Wärme bei konstantem Volumen:

Stickstoff = 0,244,
Sauerstoff = 0,217.

Der Wert von 1 Kilogr. des Explosivstoffes wird nach der Detonation für seine spezifische Wärme sein (man reduziert auf Wasser):

$$
\begin{array}{lll}
636{,}4 \text{ Gramm} & \times 0{,}244 = & 0{,}155 \text{ Kalorien,} \\
363{,}6 \quad \text{,,} & \times 0{,}217 = & \underline{0{,}079 \quad \text{,,}} \\
 & & 0{,}234 \text{ Kalorien.}
\end{array}
$$

Teilt man die disponible Wärme 368,55 Kalorien durch die spezifische Wärme des Produktes der Explosion, so werden wir die durch die chemische Reaktion erzeugte Maximaltemperatur erhalten:

$$\frac{368{,}55}{0{,}234} = 1575^{\circ}.$$

Das ist die Temperatur, bis zu welcher spontan und ohne Aenderung ihrer Natur die Gase Sauerstoff und Stickstoff gebracht werden.

Bestimmen wir nun den Wert der Gase, reduziert auf 0° und 760^{mm}; das Wasser muss in den weiteren Rechnungen als Dampf von hoher Temperatur gezählt werden.

Das Gewicht von je 1 Liter bei 0° und 760^{mm}:

Stickstoff $= 1{,}256$ Gramm,
Sauerstoff $= 1{,}433$ „

Man wird also für 636,4 Gramm Stickstoff und 363,6 Gramm Sauerstoff, welche das eine Kilogr. des Explosivstoffes bilden, erhalten:

$$\frac{636{,}4}{1{,}256} = 507 \text{ Liter Stickstoff,}$$

$$\frac{363{,}6}{1{,}433} = 254 \text{ Liter Sauerstoff.}$$

Das Stickstoffoxydul kann in die Kartusche unter der Dichte 0,9, also höher als der Wert des flüssigen Sauerstoffs und des flüssigen Stickstoffs gebracht werden.

Das Kilogramm des Explosivstoffs wird also augenblicklich ein Gasvolumen von

761 Liter,

bezogen auf 0° und 760 mm, entstehen lassen.

Bei der Temperatur von 1575° wird es unter dem Druck von 760 mm ein Volumen einnehmen gleich

$$761\left(1+\frac{1}{273}\times 1575\right)$$

oder gleich 4900 Liter.

Aus den schönen Versuchen von Natterer und Amagat weiss man, dass die Gase von 2000 Atmosphären an fast inkompressibel werden. Man kann also sagen, dass die Detonation des flüssigen Stickstoffoxyduls absolut das Zerreissen jedes festen Körpers, in den es eingeschlossen ist, herbeiführen wird. Der Druck wird bei seinem plötzlichen Wachsen jedes Mass direkter Beobachtung übersteigen.

Der von den Gasen ausgeübte Druck wird der des verflüssigten Sauerstoffs und Stickstoffs sein, die von —130°, der Nähe ihres kritischen Punktes, auf 1575° gebracht sind!!! Kein Rezipient, keine Kanone kann der zerschmetternden Gewalt dieser Entzündung widerstehen.

Wir werden nicht einmal versuchen, diesen augenblicklichen Druck zu berechnen.

Wir werden im folgenden sehen, dass dieser selbe Körper, mit Methyl-Alkohol zusammengebracht, eine an Gas reichere Explosion mit noch höherer Temperatur geben wird; aber wir glauben, dass die Reaktion weniger plötzlich sein wird, als die vorige. Wir können es noch nicht als Resultat direkter Erfahrung versichern, aber doch zufolge der Gesetze der Ausbreitung der aktiven Wärmewirkungen in einem nicht homogenen Mittel.

2. Explosivstoff. Stickstoffoxydul, dem nur Methyl-Alkohol beigesellt ist.

Die Prüfung der chemischen Tabellen, welche die Elementen-Zusammenstellung der verschiedenen Gruppen aufzählt, in denen Wasserstoff und Kohlenstoff vorkommt, zeigt unmittelbar, dass der Methyl-Alkohol der beste Begleiter des Stickstoffoxyduls sein muss.

Um die Gründe, welche diese Wahl bestimmen, gründlich zu verstehen, genügt es, daran zu erinnern, dass der Wasserdampf eines der leichtesten Gase ist, die man durch Verbindung herstellen kann. Um Wasser herzustellen, muss man Wasserstoff verbrennen; also die stark wasserstoffhaltigen Körper, die einen Teil ihres Sauerstoffs in sich enthalten, werden bei der Bildung mächtiger Explosivstoffe, die

ein in Bezug auf das Gewicht des Explosivstoffes grosses Gasvolumen erzeugen, die nützlichsten sein.

Das sind die Gründe, die mich bei der Adoptierung des Methyl-Alkohols geleitet haben.

Berechnen wir das Gewichtsverhältnis dieser beiden Körper, Stickstoffoxydul und Methyl-Alkohol, damit nur Produkte entstehen, die eine vollständige Verbrennung realisieren:

Die Formel des Methyl-Alkohols ist: $C_2H_4O_2$.

Nehmen wir 6 Aequivalentteile Stickstoffoxydul und gesellen ihnen 1 Teil Methyl-Alkohol zu, so erkennt man leicht, dass das gewünschte Resultat erreicht wird:

$$6\,(NO) + C_2H_4O_2 = 6N + 4\,(HO) + 2\,(CO_2).$$

Die Produkte der Verbrennung sind einzig Wasserdampf und Kohlensäure, der Stickstoff bleibt neutral und stört nicht.

Es ist nützlich, hier schrittweis den Gang der Erscheinungen in ihrer chronologischen Reihenfolge zu verfolgen; in der That zeigen diese beiden Flüssigkeiten, das Stickstoffoxydul und der Methyl-Alkohol, keine Spur einer Reaktion bis zu 500° und 600°.

Man muss daher zuerst das Stickstoffoxydul zersetzen, dann verbrennt zufolge der erzeugten Wärme, welche die Temperatur erhöht, ein Teil des Methyl-Alkohols mit dem Sauerstoff,

wodurch die Temperatur des Ganzen noch mehr erhöht wird, bis zur allgemeinen Verbrennung.

Es ist leicht, die verschiedenen Phasen zu berechnen. Führen wir zuerst die Rechnung für ein Aequivalent des Explosivstoffes aus:

6 N = 84 Gramm
4 (HO) = 36 „
2 (CO_2) = 44 „
164 Gramm Gewicht des Aequivalents des Explosivstoffes.

Wir wissen aus der vorhergehenden Rechnung, dass sechs Aequivalente Stickstoffoxydul sich plötzlich zersetzen und Gase bei 1575° geben.

In diesem Augenblick dissoziiert der Methyl-Alkohol und absorbiert Wärme:

62 Kalorien verschwinden, um die Dissoziation von 32 Gramm Methyl-Alkohol zu bewirken. Dann verbrennt der Wasserstoff, indem er der Masse giebt:

4 (HO) = 4 × 29,1 = 116,4 Kalorien.

Der Kohlenstoff verwandelt sich in Kohlensäure und liefert ebenfalls:

2 (CO_2) = 94 Kalorien.

Die algebraische Summe dieser drei Wärmemengen, von denen eine negativ und zwei posi tiv sind, stellt die schliessliche Wirkung dar

— 62 Kalorien,
+ 116,4 „
+ 94,0 „
Gesamt: 148,4 Kalorien.

Also erzeugt ein Gewicht von 164 Gramm Explosivstoff durch die Verbrennung des Methyl-Alkohols, den er enthält, 148,4 Kalorien, welche zur Erhöhung der Temperatur dienen.

Beim Beginn der Zersetzung des Methyl-Alkohols hatte man ein theoretisches Gemisch von $6N + 6O$ bei 1575°,
dem zugesellt sind
$2C + 4H + 2O$ bei 0° (bezogen auf 0°).

Welches ist nun die Temperatur dieses gasförmigen Gemisches?

Um sie zu berechnen, müssen wir das Gewicht des Stickstoffoxyduls und ebenso das des Methyl-Alkohols, auf einen Wert in Wasser zurückführen, dann bestimmen, um wie viel Grade die erste Masse sich abkühlen muss, um die Temperatur der zweiten Masse, die sich erwärmt, zu erreichen.

Wasserwert von $6N = 84 \times 0{,}244 = 0{,}0205$
„ „ $6O = 48 \times 0{,}217 = 0{,}0104$
Wasserwert von $6(NO) = 0{,}0309$ Kal.

Man kann also folgende Gleichung ansetzen, wenn man x die gesuchte unbekannte Temperatur nennt:

$$x \times 20{,}6 = (1575° - x) \times 31.$$

In der That erhält man, wenn man die auf 1575° erwärmten Gase auf Wasservolumen zurückführt:

$6N = 84$ Gramm $\times 0{,}244 = 20{,}5$
$6O = 48$ „ $\times 0{,}217 = 10{,}4$
zusammen 30,9.

2 C (gasförmig)	= 12 Gramm	× 0,289 =	3,47
4 H	= 4 „	× 3,41 =	13,64
2 O	= 16 „	× 0,217 =	3,47
			20,58

Aus dieser Gleichung erhält man den Wert von x und hat für die gesuchte Temperatur:

Temperatur des Gemisches = + 946°.

Berechnen wir in gleicher Weise den Wasserwert des so gebildeten Gemisches; für die 164 Gramm des Gemisches hat man eine mittlere spezifische Wärme, die sich ergiebt aus

$$\begin{array}{r} 0,031 \\ 0,0206 \\ \hline 0,0516 \end{array} = \text{spezifische Wärme}$$

des Gemisches bei konstantem Volumen.

Die Gase befinden sich sämtlich auf der Temperatur von 946° und erhalten jetzt die Verbrennungswärme vom Wasserstoff und Kohlenstoff, vermindert um die Dissoziationswärme des Methyl-Alkohols.

Diese drei Quanta geben eine Summe gleich

148,4 Kalorien.

Die Temperaturerhöhung der Masse erhält man, wenn man die disponible Wärme durch die gefundene spezifische Wärme dividiert; also hat man

$$\frac{148,4}{0,0516} = 2876° \text{ Temperaturerhöhung.}$$

Da die Gase sich schon auf der Anfangstemperatur 946°
befinden, so giebt die Summe dieser beiden Zahlen die theoretische Temperatur der schliesslichen Verbindung:

$$946^\circ + 2876^\circ = 3822^\circ.$$

Kennt man diese Elemente, so kann man das Volumen der erzeugten Gase, bezogen auf 1 Kilogr. des Explosivstoffs, berechnen.

Für 164 Gramm des Explosivstoffes No. 2 haben wir folgende Verteilung:

84 Gramm	$N = 67$ Liter	bei	0°	und	760 mm
36 „	$HO = 45$ „	„	0°	„	760 „
44 „	$CO_2 = 22$ „	„	0°	„	760 „
	134 „	„	0°	„	760 „

Für 1 Kilogr. des Explosivstoffes findet man für das Volumen der erzeugten Gase, bezogen auf 0° und 760 mm und das gasförmige Wasser einen Wert gleich

817 Liter Gas = 1 Kilogr. Explosivstoff.

Indem man das Volumen auf die Temperatur 3822° bezieht, wird das Volumen:

$$V = 817 \times \left(1 + \frac{1}{273} \times 3822\right) = 11438 \text{ Liter}.$$

Da dieser Explosivstoff zu vier Fünfteln aus Stickstoffoxydul und einem Fünftel Alkohol besteht, so kann man Ladungsdichten erhalten, die gleich oder benachbart sind 0,9 als Maximum.

Wenn wir uns auf eine Dichte gleich 0,8 beschränken, so würde der theoretische Druck der Gase sein:

11438 Liter × 0,8 = 9150 Kilogr. per qcm.

In Wirklichkeit würde der Druck stärker sein, wenn das Volumen seinen anfänglichen Wert bewahrte.

Ich denke, dass dieser Explosivstoff No. 2, welcher unter dem dreifachen Gesichtspunkt der schliesslichen Temperatur, der frei werdenden Wärmemenge und des Volumens der erzeugten Gase mächtiger ist als der Explosivstoff No. 1, sich wahrscheinlich weniger plötzlich zersetzen wird, als der Explosivstoff No. 1, der nicht vorhergängige Hülfs-Dissoziationsarbeit zu leisten hat, um seine Gase unter starker Dichte auszuschleudern.

Diese Frage kann nur experimentell mit Registrierapparaten für Detonationen in geschlossenem Gefäss entschieden werden.

3. Explosivstoff. Stickstoffoxydul, dem Methyl-Alkohol und flüssiges Wasser beigesellt sind.

Wie wir soeben gesehen haben, steigert der Explosivstoff Nr. 2 die Temperatur auf eine grössere Höhe, als wir theoretisch für die Feuerwaffen als zuträglich zugelassen haben. 1900 bis 2000° sollte die Temperatur hierfür nicht übersteigen. Mithin folgt aus der vorigen Ana-

lyse, dass man einen Teil der chemischen Spannkraft des Explosivstoffs Nr. 2 verwenden kann, um flüssiges Wasser zu verdampfen und die Temperatur auf 2000° wieder herabzubringen.

Dieser rationellere Explosivstoff ist besonders für Feuerwaffen bestimmt.

Wir wollen seine Wirkungen berechnen.

Um die Menge flüssigen Wassers zu bestimmen, die wir bei der Ladung einführen müssen, um ihr Gesammtgewicht auf 1 Kilo zu reduzieren, beginnen wir mit der genauen Bestimmung der Wärmemenge, die man einem Gramm flüssigen Wassers zuführen muss, um es von 0° auf 2000° bei der Verdampfung zu bringen.

Latente Wärme des Wassers = 0,64 für 1 Gr.

Spezifische Wärme der Dämpfe = 0,00048 für 1 Gramm.

Zieht man die Summe dieser beiden Grössen bezogen auf 2000°, so erhält man:

Um das Wasser von 0° auf 100° zu bringen und zu verdampfen = 0,64

Um von 100° auf 2000° zu kommen, ist hinzuzufügen = 0,96

zusammen = 1,60

Jedes Gramm flüssigen Wassers verbraucht 1,6 Kalorien, um auf 2000° zu kommen, wobei die Strahlung nicht berücksichtigt ist.

Wenn uns die durch den Explosivstoff Nr. 2 nach der Detonation erzeugten Gase die Wärme liefern, die ausreicht, sie auf 2000° zurückzubringen, so finden wir für diesen Wert: das Produkt aus der spezifischen Wärme multipliziert mit ihrem Gewicht und der Temperaturdifferenz.

Anfangstemperatur: 3822°
Endtemperatur: 2000°
Differenz: 1822°

Spezifische Wärme: 0,0516 Kalorien
Gewicht: 1 Kilo

disponible Wärme in Kalorien:

$$1 \times 0{,}0516 \times 1822 = 94{,}0 \text{ Kalorien.}$$

Dividiert man diese disponible Wärme durch die Wärme, die von jedem Gramm Wasser verbraucht wird, so erhält man:

$$\frac{94}{1{,}6} = 59 \text{ Gramm Wasser.}$$

Dies bezieht sich also auf 1 Kilo des Explosivstoffes Nr. 2, vermehrt um 59 Gramm Wasser; für 1 Kilo des Explosivstoffes Nr. 3 erhält man daher folgende Zusammensetzung:

Flüssiges Stickstoffoxydul:	760 Gramm
Methyl-Alkohol:	184 „
flüssiges Wasser:	56 „
zusammen:	1000 Gramm

Der Wert der von diesem Explosivstoff per Kilogramm entwickelten Gase beträgt

944 Gr. des Explosivstoffs Nr. 2 = 771 Liter
56 „ Wasserdampf = 70 „
zusammen = 841 Liter

Der Explosivstoff Nr. 3 entwickelt 841 Liter per Kilogramm; bei 1900° wird das Volumen dieser Gase:

$$841 \times \left(1 + \frac{1}{273} \cdot 1900\right) = 5887 \text{ Liter}$$

Die Ladungsdichte des Explosivstoffs Nr. 3 ist merklich dieselbe, wie die von Nr. 2, also 0,8 bis 0,9 als Maximum.

Der Anfangsdruck würde, wenn die Gase auf ihr ursprüngliches Volumen begrenzt blieben, theoretisch sein:

$$5887 \times 0{,}8 = 4709 \text{ Kilogramm.}$$

Vergleichen wir jetzt die numerischen Resultate, die wir für diese drei Arten von Explosivstoffen erhalten haben. Es ist nützlich, die allmähliche Wirkung des eingeführten Methyl-Alkohols, sodann die des Wassers zu sehen.

Vergleichende Tabelle der drei Explosivstoffe.

Nr. des Explosivstoffs	Explosionstemperatur	Volumen der Gase bei o⁰	Volumen der Gase bei der Expl.-Temperatur	Maximaldrucke
Nr. 1	1575°	761 lit.	4400 lit.	?
Nr. 2	3822°	814 lit.	11438 lit.	9150 kg
Nr. 3	1900°	841 lit.	5887 lit.	4709 kg

Indem wir diese Resultate mit denen zusammenstellen, die wir bei den gebräuchlichen

Explosivstoffen erhalten haben, können wir diese Tabelle folgendermassen vervollständigen:

Knallquecksilber	4000°	314 lit.	28750 kg
Schiessbaumwolle		859 lit.	10000 kg
Nitroglycerin	6980°	713 lit.	19580 kg
Dynamit	5348°	535 lit.	12000 kg
Sprenggelatine	5500°	709 lit.	12500 kg
Schiesspulver	3514°	300 lit.	4600 kg

Wir sehen, dass diese Explosivstoffe mit flüssigem Stickstoffoxydul per Kilogramm fast eben so viel Gas liefern, wie die Schiessbaumwolle, nur sind es harmlose Gase statt giftiger Dämpfe.

Vergleichen wir den Explosivstoff Nr. 1 mit dem Knallquecksilber, so sehen wir, dass das letztere bei einer Temperatur von 4000° dasselbe Volumen Gase aussenden wird, wie der Explosivstoff Nr. 1 bei 1575°, sie hätten also hinsichtlich der Plötzlichkeit der Reaktion analoge zerschmetternde Wirkungen.

Man erkennt, dass der Explosivstoff Nr. 3 unendlich weniger zerschmetternd sein wird, als Nr. 1 und 2, vielmehr sehr allmählich wirkend, da er 841 Liter Gas, reduziert auf 0°, aussenden wird.

Jeder der Explosivstoffe Nr. 1, 2 oder 3 giebt Temperaturen, die denen benachbart sind, die man für die vollständige Verbrennung der explosiven Nitroprodukte berechnet hat.

Man kann zweckmässig das Schiesspulver mit dem Explosivstoff Nr. 3 vergleichen, der ja auch für die Feuerwaffen bestimmt ist. Man erkennt, dass die Temperatur 1900° beträchtlich geringer ist als 3500°, dass aber das Volumen der Gase fast dreimal so bedeutend ist.

Es ist also sicherlich der Explosivstoff Nr. 3 dem gewöhnlichen schwarzen Schiesspulver theoretisch unendlich überlegen

4. Explosivstoffe mit Ammoniak-Nitrat und mit Methyl-Alkohol.

Wir haben das Ammoniak-Nitrat, das uns das Stickstoffoxydul giebt, direkt mit dem Methyl-Alkohol kombiniert, um es vollständig zu verbrennen. Wir können angesichts der hohen Temperatur der Reaktion annehmen, dass die Dissoziation des Nitrats in Wasser, Sauerstoff und Stickstoff vollständig vor sich geht. Die Formel der Reaktion ist:

$$NO_3HNH_3 = N_2 + O_2 + 2H_2O_2$$

Äquivalentgewicht = 80 Gramm.

Auf das Kilogramm bezogen erhält man:

Stickstoff = 350 Gramm
Wasserstoff = 50 „
Sauerstoff = 600 „

wovon 400 durch den Wasserstoff gebunden sind.

Die Dissoziation erzeugt an Wärme: 50,9 Kalorien, wenn das Wasser sich kondensiert 33,7 Kalorien, wenn es gasförmig bleibt.

Das Volumen der erzeugten Gase beträgt 976 Liter, die schliessliche Temperatur 1501°.

Wir wollen die 200 Gramm freien Sauerstoff mit dem Methyl-Alkohol verbrennen. Um 32,9 Gramm Methyl-Alkohol zu verbrennen, braucht man 48 Gramm Sauerstoff. Um die 200 Gramm freien Sauerstoff zu verbrennen, sind nötig

133,5 Gramm Methyl-Alkohol.

Durch die Verbrennung dieser Menge Methyl-Alkohol werden

618,1 Kalorien

entstehen. Um die schliessliche Temperatur dieser Reaktion zu berechnen, müssen wir noch das Gewicht der erzeugten Gase reduzieren.

Gesamtes	Wasser-Gewicht	600 Gramm
„	Stickstoff-Gewicht	350 „
„	Gewicht an Kohlensäure	183 „
	zusammen	1133 Gramm

Für die mittlere spezifische Wärme erhält man

Wasser	$600 \times 0{,}48$	$= 0{,}288$
Stickstoff	$350 \times 0{,}244$	$= 0{,}0854$
Kohlensäure	$183 \times 0{,}215$	$= 0{,}0403$
	zusammen	$= 0{,}414$

Die 618,1 Kalorien werden daher die Temperatur um $\frac{618{,}1}{0{,}414} = 1500^{\circ}$ über die anfängliche Temperatur erhöhen. Die Explosion wird die Gase beinahe auf 3000° bringen.

Beziehen wir die Zahlen auf 1 Kilogramm des Explosivstoffes, so finden wir

Wasser	530 Gramm	= 663	Liter
Stickstoff	310 „	= 247	„
Kohlensäure	160 „	= 80	„
	zusammen	= 990	Liter

Das Kilogramm dieses Körpers, dem Methyl-Alkohol beigesellt ist, wird also 990 Liter Gas bei einer Temperatur von etwa 3000° entstehen lassen. Folglich vereinigt er alle Vorteile der Explosivstoffe 2 und 3 unter der Bedingung, dass seine Zersetzung nach der angegebenen Formel geschieht. Hierüber wird allein die Erfahrung entscheiden.

5. Explosivstoffe aus Gemischen von Wasserstoff und Sauerstoff unter Druck, denen flüssiges Wasser beigesellt ist.

Wenn man in dem verlangten Verhältnis von 8 Teilen Sauerstoff und 1 Teil Wasserstoff diese in Metall-Kartuschen komprimiert und ihnen flüssiges Wasser hinzufügt, so kann man das Ganze explodieren lassen, wobei man die Gase auf 2000° als höhere Temperatur bringt.

1 Kilogramm Wasserdampf enthält

111 Gramm Wasserstoff
889 „ Sauerstoff

zusammen 1000 Gramm.

Durch die Verbrennung dieses Gemisches entstehen 3278 Kalorien.

Die Reaktion ist exothermisch im höchsten Masse. Wir wollen das Gewicht an Wasser

berechnen, das durch diese Wärmemenge verdampft und auf 2000° gebracht werden kann.

Wir wissen, dass 1 Gramm Wasser 1,6 Kal. erfordert, um von 0° auf 2000° zu kommen. Wir werden also 3278 Kalorien durch 1,6 Kal. teilen und das gesuchte Gewicht erhalten zu

2046 Gramm Wassergewicht bei 2000°.

Also kann ein Kilogramm Explosivstoff sichtlich ein hinzukommendes Wassergewicht, das ihm gleich ist, verdampfen und die beiden Kilo auf eine gemeinsame Temperatur von 2000° bringen.

Berechnen wir die Gasvolumina vor und nach der Explosion. Wir haben

111 Gr. Wasserstoff, von dem der Lit. wiegt 0,0896
889 „ Sauerstoff, „ „ „ „ „ 1,43

Also ist das anfängliche Volumen, das dem Gewicht von 1 Kilo bei 0° und 760 mm entspricht:

Wasserstoff	1239 Liter
Sauerstoff	622 „
zusammen	1861 Liter.

In der Industrie komprimieren wir die Gase auf 250 Kilogramm per Quadratzentimeter. Wir nehmen eine Metallkartusche von 1150 Kubikcm Inhalt. Zuerst giessen wir 134 Gramm Wasser hinein und führen dann die explosiven Gase unter einem Druck von 250 Kilogramm ein. Das Gewicht der komprimierten Gase ist gleich dem Gewicht des zuvor eingeführten Wassers

134 Gramm.

Die 268 Gramm Wasser, die nach der Explosion in Dampfform vorhanden sind, stellen bei 0° und 760 mm 335 Liter und bei 2000° 2345 Liter Dampf dar.

Diese in einem Raum von 1150 Kubikcm. komprimierten heissen Gase werden ungefähr 2000 Kilo Anfangsdruck geben. Sie haben eine bedeutende erwärmende Kraft, aber wegen der enormen Kontraktion bei der chemischen Reaktion entwickeln sie nur geringe Wirkung. Dagegen sind sie vorzüglich als Zünder geeignet, wenn es sich darum handelt, rasch die Temperatur von Stoffen zu erhöhen, bei denen man Dissoziation oder Verbindung hervorrufen will.

6. Explosivstoffe mit Ammoniak-Nitrat, das in gasförmigem Ammoniak gelöst ist.

Lässt man einen Strom von Ammoniakgas zum Ammoniak-Nitrat treten, so bindet man dieses Gas in dem Kristall, der zerfliessbar werden kann. Das Ammoniak kann vollständig durch den Sauerstoff des Ammoniak-Nitrats verbrannt werden. Dieses Gemisch bildet also auch einen Explosivstoff, der zu studieren ist, denn er entsendet keine giftigen Dämpfe, wenn die Reaktion das Ammoniak und das Nitrat nur in Stickstoff und Wasser ohne andere Produkte zersetzt.

Das Ammoniak hat als Formel $NH_3 = 17$ Gr. Zur Dissoziation erfordert das Ammoniak 12,2

Kalorien. 1 Aequivalent Ammoniak giebt nach der Verbrennung 3 Aequivalente Wasser oder 27 Gramm Wasser. 1 Aequivalent Ammoniak erfordert zu seiner Verbrennung 3 Aequivalente oder 24 Gramm Sauerstoff. 1 Kilo Ammoniak-Nitrat lässt, wie wir gesehen haben, 200 Gramm freien Sauerstoff übrig.

Zu 1 Kilo Ammoniak-Nitrat muss also 141,61 Gramm Ammoniak hinzugefügt werden.

Die vollständige Verbrennung bringt, nach der Dissoziation des Ammoniak einerseits und des Ammoniak-Nitrats andrerseits, das Gasgemisch auf die Temperatur von 1210°, die sich aus der Gleichung ergiebt

$$0{,}075\ t = (1500 - t) .\ 0{,}346$$

Die Wärmemenge, welche durch die Verbrennung der 141,61 Gramm Ammoniak geliefert wird, erhebt sich zu 635,6 Kalorien.

Nach Beendigung der Reaktionen haben wir folgende Gewichte:

Wasser = 675 Gramm
Stickstoff = 466,6 „
1141,6 Gramm Gesamtgewicht.

Reduziert man auf Wasser, so findet man

$0{,}675$ kg $\times 0{,}48 = 0{,}324$ Kalorien
$0{,}4666$ „ $\times 0.244 = 0{,}114$ „
Summe $= 0{,}438$ Kalorien.

Die 635,6 Kalorien werden die Temperatur der Gase auf $\frac{635,6}{0,438} = 1450^0$ über die schliessliche Temperatur der Dissoziationen erhöhen.

$1210 + 1450 = 2660^0$ Endtemperatur.

Bei Reduzierung des Volumens der Gase auf 0° und 760 mm ergiebt sich durch

$$\frac{466}{1,256} = 321 \text{ Liter Stickstoff}$$

und $$\frac{675}{0,8} = 844 \text{ Liter Wasserdampf.}$$

Bezieht man diese Zahlen auf 1 Kilogramm Explosivstoff, so findet man

1 Kilo Explosivstoff entwickelt 1065 Liter.

Bei der Temperatur von 2660° werden sie 10400 Liter.

Die Dichte des Ammoniak-Nitrats ist 1,7; der Druck würde in diesem Falle enorme Werte, gegen 18000 Kilo per Quadratzentimeter, erreichen können. Zu beachten ist, dass die Plötzlichkeit der Reaktion von der vorherigen Dissoziation des Ammoniaks abhängt.

VI. Experimentelle Resultate.

Wir haben versucht, die theoretischen Resultate obiger Untersuchung experimentell zu bestätigen. In unserm Laboratorium stellen wir den Stickstoffoxydul, der, wie wir gesehen, bei diesen neuen Explosivstoffen die Hauptrolle spielt, im Grossen her. Wir haben Metall-

Kartuschen aus Kupfer und Eisen genommen. Es sind das Röhren mit hermetischen Verschlüssen. Wir haben solche mit 4 Kubikzentimeter Inhalt bis zu 120 und selbst bis zu 1100 Kubikzentimeter gemacht.

Nachdem wir die Kartuschen mit den Explosivstoffen 1, 2 und 3 gefüllt hatten, ist es uns gelungen, alle Kartuschen ohne Ausnahme zur Explosion zu bringen. Die Wirkung und das charakteristische Geräusch der Explosivstoffe 1 und 2 erinnern an das Dynamit. Der Schall ist hoch und trocken. Die Pulverisierung der Eisen- und Kupferhüllen ist bei den Explosivstoffen 1 und 2 vollständig und zwar noch vollständiger bei 1 als bei 2. Rauch ist nicht sichtbar und die Trümmer der Kartuschen sind absolut rein.

Für den Explosivstoff Nr. 3 kann die Verzögerung bei der Verbrennung unter der Wirkung des Wassers weit genug getrieben werden, so dass es möglich ist, eine in der Kartusche vor der Explosion zu bemerken.

Diese Thatsache ist sehr charakteristisch und zeigt die allmähliche Wirkung dieses Explosivstoffes bei grossem Gasverbrauch.

Sicherheit der Fabrikation. Die Fabrikation dieser Explosivstoffe nach den praktischen Methoden, die wir besitzen, bietet nicht die mindeste Gefahr dar. Die Mischung dieser

Flüssigkeiten vollzieht sich in geschlossenem Gefäss unter Druck, ohne Aenderung oder Erhöhung der Temperatur. Die so zusammengebrachten Flüssigkeiten sind absolut neutral und reagieren durchaus nicht auf einander. Man kann sie unbestimmt ohne Modifizierung aufbewahren. Wird eine Kartusche an einem Ende auf fast 600° erhitzt, so tritt keine Explosion ein. Die heftigsten Stösse gegen die Kartusche können sie höchstens mechanisch zersprengen.

Die entweichenden Gase sind angesichts der sehr kleinen Verhältnisse der Dämpfe von Methyl-Alkohol, verglichen mit denen des Stickstoffoxyduls, nicht mehr gefährlich.

Diese Dämpfe sind nicht mehr entzündbar. Den Beweis dafür haben wir durch Kautschukballons geliefert, die mit Dämpfen von Stickstoffoxydul, gemischt mit Dämpfen von Methyl-Alkohol in verschiedenem Mischungsverhältnis, gefüllt waren.

Der Transport dieser Explosivstoffe bietet nicht mehr die geringste Gefahr dar.

Die entwickelten Dämpfe entsprechen vollständig der Theorie.

Die Entzündung fand immer bei 900° bis 1000° durch einen glühenden Stahldraht oder durch einen elektrischen Funken statt. Knallquecksilber kann auch diese Art der Entzündung ersetzen.

Der Preis dieses Explosivstoffs wird, besonders wenn man einen Teil des Stickstoffoxyduls durch Ammoniak-Nitrat ersetzt, bei etwa 2 Frs. bis 3 Frs. per Kilogramm bleiben, also unter dem Preis für die gegenwärtigen kräftigen Explosivstoffe.

Eine Kontrole der Fabrikation dieser Explosivstoffe ist leicht durchzuführen; denn die notwendigen Hilfsmittel sind nicht in jedermanns Bereich.

Diese in hermetisch verschlossenen Kartuschen eingeschlossenen Explosivstoffe sind keineswegs giftig. Nach der Explosion lassen sie harmlose Gase übrig.

VII. Schlussfolgerungen.

Nachdem die mit diesen Explosivstoffen bis heute angestellten Versuche in ihren allgemeinen Zügen den theoretischen Bestimmungen entsprechen, scheint hierin wirklich die Richtung gegeben, in welcher man für die Industrie die Lösung der normalen Explosivstoffe suchen muss. Folgende Punkte bedürfen noch genauer direkter Versuche, die nur mit besonderen Hilfsmitteln unternommen werden können.

1. Die Geschwindigkeit der Verbrennung der verschiedenen beschriebenen Explosivstoffe als Funktion der Wassermenge, die sie enthalten, zu bestimmen.

2. Das Verhältnis der Kraft zwischen den Explosivstoffen mit Ammoniak und denen mit Methyl - Alkohol zu bestimmen.
3. Die Aenderungen zu bestimmen, welche in den Verbrennungsgasen der Explosivstoffe mit Ammoniak-Nitrat, je nach der Temperatur, die durch das Hilfswasser reguliert wird, auftreten können.
4. Experimentell die Geschwindigkeit der Detonation der allmählich wirkenden Explosivstoffe, die am besten für die gegenwärtigen Feuerwaffen passen, nach ihrem Kaliber und dem zulässigen Gewicht der Geschosse zu bestimmen.
5. Bei gleichem Gewicht die neuen Explosivstoffe mit den in der Praxis gebräuchlichen zu vergleichen.

In die mechanischen Entwicklungen der verschiedenen für die Fabrikation der Kartuschen notwendigen Werkzeuge treten wir nicht ein. Diese Gegenstände unterliegen noch dem Studium und erfordern eine besondere Arbeit. Wir können versichern, dass sie gegenwärtig keine Schwierigkeit besonderer Art machen. Der hermetische Verschluss der Kartuschen, ihre Füllung und Entzündung sind bereits in praktischer Weise gelöst.

Bericht über die X. Hauptversammlung der Vereinigung öffentlicher analytischer Chemiker Sachsens, 1897.

Preis Mk. —.80.

Bericht über die III. ordentliche Hauptversammlung des Verbandes selbstständiger, öffentlicher Chemiker Deutschlands, 1898.

Preis Mk. 1.40.

Blümelhuber, Michel. **Ein lenkbares Luftfahrzeug.** Mit vier Tafeln. **Preis Mk. 2.40.**

„Nachdem in den ersten Abschnitten alle in Betracht kommenden naturwissenschaftlichen Quellenerscheinungen und die bisher gewonnenen thatsächlichen Erfahrungen auf dem viel umstrittenen Gebiete der Luftschifffahrt beleuchtet worden sind, macht uns der Verfasser mit einem von ihm erfundenen lenkbaren Luftfahrzeug bekannt, das sich als ein drachenähnlicher Ballonflieger von anerkennenswerter Einfachheit in der Konstruktion darstellt. Mit einer Uebersicht über die zeitgenössischen Luftschifffahrts-Projekte schliesst die anregende und vielseitige Abhandlung, die durch klare und vorurteilslose Behandlung angenehm von ähnlichen Schriften absticht.“

Uhland's Technische Rundschau.

Ferraris, G. u. **Arno,** R. **Ein neues System zur elektrischen Verteilung der Energie mittelst Wechselströmen.** Autorisierte Uebersetzung von Prof. **Carl Heim.** Mit 14 Abbildungen. 2. Aufl. **Preis Mk. 1.35.**

„Es wird den deutschen Lesern angenehm sein, dass Herr Prof. Heim sich der Mühe unterzogen hat, die hochinteressante Abhandlung durch eine korrekte, auch sprachlich ausgezeichnete Uebersetzung zugänglicher gemacht zu haben.“

Elektrotechnische Zeitschrift.

Forster, Dr. A. **Die Milchkontrole in der Stadt Plauen i. V.** Mit 1 Tafel. **Preis Mk. —.50.**

Gumlich, Prof. E. und **Wiebe,** Prof. H. F. **Ueber die Bestimmung der spezifischen Wärme von Flüssigkeiten.** (Aus „Zeitschrift für komprimierte und flüssige Gase“). **Preis Mk. —. 80.**

Hallier, Prof. Dr. E. **Die Hefe der Alkoholgährung, insbesondere der Biergährung.** Mit zwei Tafeln.

Preis Mk. 2.—

„Der hochangesehene Verfasser übergiebt hier die Resultate langjähriger Forschungen der Wissenschaft und Praxis. Die Untersuchungen sind höchst beachtenswert".

Neueste Erfind. u. Erfahrungen.

„Der Fachmann wird aus der Schrift manches Samenkörnlein lesen und in dem Sinne möchte das Schriftchen auch entgegen genommen werden". **Chemiker Zeitung.**

Heinel, C. Ingenieur, Privatdozent an der technischen Hochschule zu Berlin. **Die Pressluft-Erzeugung.**

— *Soeben erschienen!* — **Preis Mk. 1.20.**

Jean, F. und **Mercier,** G. **Reagentien für spezielle chemische und pharmazeutische Zwecke.** Autorisierte Uebersetzung von Dr. **P. Duden.** — Mit freien Seiten zu Notizen durchschossen, steif geheftet.

Preis Mk. 2.20

„Diese Zusammenstellung ist nach Ansicht des Ref. eine vollständige". — „Ein sehr willkommener Behelf!" — . . .

Chemiker Zeitung.

„Auch Rezepte für bakteriolog. und histolog. Flüssigkeiten sind aufgenommen. Dieses Werkchen wird sich mit der Zeit als ein notwendiges Requisit jeden Laboratoriums herausstellen. **Pharm. Wochenschrift.**

Kausch, Dr. O. **Die Herstellung und Verwendung von flüssiger Luft.** Unter besonderer Berücksichtigung der Patentlitteratur zusammengestellt. Mit 29 Abbildungen.

— *Soeben erschienen!* — **Preis Mk. 1.60.**

Möslinger, Dr. W. und **Eckstein,** Dr. F. **Ueber Weinsäurebestimmung.** (Aus „Zeitschrift für öffentliche Chemie.")

Preis Mk. —.50.

Oetling, Dr. C. **Die Anwendung der Pressluft und die Rentabilität derselben.** Vortrag, gehalten im Bezirksverein deutscher Ingenieure zu Dresden.

Preis Mk. —.50.

Pictet, Prof. Raoul. **Zur mechanischen Theorie der Explosivstoffe.** — *Soeben erschienen!* — **Preis Mk. 1.60.**

Pictet, Prof. Raoul. **Die Automobile und die motorische Kraft. Der Luft-Wasser-Motor.** Mit einer Kurventafel. **Preis Mk. 2.40.**

„Professor Pictet, der geistvolle Leiter der gleichnamigen Gesellschaft für flüssige Gase, hat in dieser Broschüre durch wissenschaftliche Untersuchungen, denen praktische Versuche mit entsprechenden Modellen folgen sollen, sich hoch verdient gemacht um die Vervollkommnung der Motorwagen.“

Techn. Centralblatt.

„Die kleine Schrift ist gleichzeitig ein Beitrag zu der noch wenig behandelten Frage über die technische Verwendbarkeit der Gemische von Dampf und Luft.“

Dingler's polyt. Journal.

Treumann, Dr. J. **Die Chemie und der Chemiker im Dienste der Eisenbahn.** (Aus „Zeitschrift für öffentliche Chemie“). **Preis Mk. —.50.**

Treumann, Dr. J. **Die Rostschutzmittel und deren Wertbestimmung.** (Aus „Zeitschrift für öffentliche Chemie“.) **Preis Mk. 1.50.**

Woy, Dr. R. **Tabelle zur Bestimmung der Zuckerarten durch Reduktion Fehlingscher Lösung nach Kjeldahl für Kupferoxyd als Wägungsform berechnet.** Einseitig gedruckt, zum Aufziehen eingerichtet.

Preis Mk. 1.20. Gebunden Mk. 1.50.

Ferner empfehle ich zum Bezuge:

Mitteilungen des Thüringischen botanischen Vereins Neue Folge, **Heft I—XVI zu verschiedenen Preisen. General-Register zu Heft I—X.**

Preis Mk. 2.50.

Kobert, Prof. Dr. R. **Mitteilungen aus dem Institute für physiolog. Chemie und Pharmakologie der Universität Rostock.** — Ueber das mikrokristallographische Verhalten des Wirbeltierblutes. Von **H. U. Kobert,** cand. med. Mit 33 Abbildungen.

Preis Mk. 2.40.





